

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

Підвищення ефективності техно-логічного процесу внутрішнього шліфування

АВТОР Береза Максим Павлович

Н.кер. Гладський Максим Миколайович

2019

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ABSTRACT	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВНУТРІШНЄ ШЛІФУВАННЯ.....	9
1.1 Внутрішнє шліфування в патроні	9
1.2 Внутрішнє безцентрове шліфування	11
1.3 Планетарне внутрішнє шліфування.....	13
1.4 Загальні уявлення про характер впливу швидкості різання на вихідні параметри процесу шліфування	13
1.5 Аналіз можливості підвищення продуктивності обробки при високошвидкісному шліфуванні	14
1.6 Вплив швидкості круга на силу різання, контактну температуру і якість шліфованої поверхні.....	20
2 ПАРАМЕТРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ.....	23
2.1 Рельєф робочих поверхонь шліфувальних кругів.....	23
2.2 Комп'ютерний метод оцінки робочої поверхні шліфувального круга	25
2.3 Утворення шліфовочних рисок.....	29
2.4 Продуктивність обробки при шліфуванні	32
3 ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ	38
3.1 Високошвидкісне внутрішнє шліфування.....	38
3.2 Шліфування високопористими кругами.....	45
3.3 Внутрішнє шліфування на основі збірних абразивних кругів	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертаційна робота складається із змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 68 сторінок тексту, 12 рисунків, 29 таблиць, 9 найменування використаних літературних джерел.

Актуальність теми. Серед проблем, що стоять в даний час перед вітчизняною машинобудівною промисловістю, однією з основних є проблема підвищення рентабельності виробництв. Шліфування, як метод обробки заготовок деталей машин, широко застосовується на всіх промислових підприємствах, починаючи з заготівельних і закінчуючи фінішними операціями. Частка шліфування в механообробні виробництві з кожним роком зростає, що вимагає вдосконалення процесу і його технології..

У рамках даної роботи приведені результати теоретичного і експериментального дослідження підвищення ефективності технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота має зв'язок з науково-дослідною роботою інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України за проектом Р 7.4.1. «Розробка технології керування параметрами шорсткості поверхневого шару зубчастих вінців методом алмазного зубохонінгування після їх термообробки».

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Завданням дослідження є теоретичні і експериментальні дослідження технологічних можливостей підвищення ефективності технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Об'єкт дослідження – процес проектування технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Предмет дослідження – вплив режимів різання на ефективність технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Наукова новизна.

Запропоновано оптимальні варіанти підвищення ефективності технологічного процесу внутрішнього шліфування.

Практичне значення

Запропоновано оптимальні варіанти які дозволяють як найкраще використовувати можливості покращення продуктивності технологічного процесу.

Публікації

Гладский М.М., Береза М.П. Влияние концентрации напряжений на циклическую прочность стали 20. XIV международная научная практическая конференция, Новейшие достижения в европейской науке - 2018;

ABSTRACT

The master's thesis consists of content, introduction, four sections, conclusions, a list of used literature and applications. The work contains 68 pages of text, 12 figures, 7 tables, 9 names of used literature sources.

Actuality of theme. Among the problems currently facing the domestic machine-building industry, one of the main is the problem of increasing the profitability of production. Grinding, as a method of machining workpieces for machine parts, is widely used in all industrial enterprises, from procurement to finishing operations. The share of grinding in machining is increasing every year, which requires improvement of the process and its technology ..

The results of theoretical and experimental study of increasing the efficiency of technological process of internal grinding are presented in the framework of this work.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The work is connected with the research work of the Institute of Superhard Materials. VM Bakul of NAS of Ukraine under the project P 7.4.1. «Development of technology for controlling the roughness parameters of the surface layer of gear crowns by the method of diamond dentition after their heat treatment».

The purpose of this work is to increase the efficiency of the internal grinding process.

The purpose of the research is theoretical and experimental research of technological possibilities of increasing the efficiency of technological process of internal grinding.

The object of study is the process of designing the technological process of internal grinding.

The subject of the study is the influence of cutting modes on the efficiency of the internal grinding process.

Scientific novelty.

Optimal variants of increase of efficiency of technological process of internal grinding are offered.

Practical meaning

Optimal variants are offered which allow to make the best use of possibilities of improvement of productivity of technological process.

Publications

Gladsky M.M., Birch M.P. Impact of stress concentration on cyclic strength of steel 20. XIV International Scientific Practical Conference, Recent Developments in European Science - 2018;

ВСТУП

Високі темпи розвитку машинобудівної промисловості визначаються об'єктивною необхідністю постійно оновлювати і розширювати матеріально-технічну базу народного господарства і забезпечувати безперервний технічний прогрес у всіх його галузях.

Вирішення цього завдання вимагає якісної зміни і удосконалення процесів і методів обробки деталей різних приладів і машин, які за своїми техніко-економічними показниками не повинні поступатися кращим світовим зразкам.

Одним з найбільш поширених процесів остаточної обробки деталей є внутрішнє шліфування, яке забезпечує високу якість поверхні при високій продуктивності і невеликій собівартості. Так, операція внутрішнього шліфування є обов'язковою на заводах шарикопідшипникової промисловості, займаючи значну питому вагу в загальному обсязі механічної обробки, в механічних цехах, зайнятих виробництвом гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання, в інструментальній промисловості та інших галузях.

Процес внутрішнього шліфування, в порівнянні з іншими процесами, є складним і вимагає високої кваліфікації робітника. Складність цього процесу полягає у встановленні оптимальних режимів роботи на верстаті для отримання високої точності розмірів отвору, що шліфується і його геометрії при низькій шорсткості поверхні, у виборі найбільш відповідає вимогам операції характеристики кола і способі його правки, в застосуванні раціональних засобів кріплення оброблюваної деталі, методів контролю та т. д.

Розвиток техніки і технології призвело до появи сучасних верстатів з ЧПУ, що дозволяють виробляти високопродуктивну обробку по ступінчастим циклам. Однак практика використання на виробництві верстатів з ЧПУ показує, що їх виробничі потужності використовуються лише на 40% ... 60%. Причина низької продуктивності обробки деталей на верстатах з ЧПУ полягає в тому, що на

машинобудівних підприємствах України відсутні методи проектування циклів (нормативно-довідкова література, інженерно-розцврахункові методики і системи автоматизованого проектування), які б відповідали вимогам сучасного автоматизованого виробництва.

Використовувана на підприємствах нормативна література 60-х ... 80-х років випуску складена на підставі статистичних даних того періоду і призначена для нормування операцій, що виконуються на верстатах з ручним керуванням. Дані, представлені в нормативній літературі, послужили основою при створенні систем автоматизованого проектування, що робить їх використання при розробці циклів для верстатів з ЧПУ неефективним. Існуючі інженерні методики також ґрунтуються на рекомендаціях нормативної літератури або на приватних емпіричних даних, при цьому не враховуються зміни змінних умов обробки. Істотним недоліком даних методик є те, що в них реалізована можливість управління тільки одним параметром - середньої за цикл радіальної подачею, необхідної для нормування основного часу. У той час, як на верстатах з ЧПУ для досягнення максимальної продуктивності операцій внутрішнього шліфування можна одночасно керувати двома подачами - радіальної і осьової. В результаті на підприємствах змушені здійснювати вручну підбір циклів управління радіальної і осьової подачами шляхом обробки низки пробних заготовок, спираючись при цьому на накопичений досвід обробки однотипних деталей. В реальних умовах виробництва для гарантованого забезпечення вимог креслення технологи в рази занижують режимні параметри циклів і тим самим знижують продуктивність верстатів з ЧПУ.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВНУТРІШНЄ ШЛІФУВАННЯ

1.1 Внутрішнє шліфування в патроні

Внутрішнє шліфування застосовують головним чином при обробці точних отворів в загартованих деталях, а також у випадках, коли з яких-небудь причин неможливо застосовувати інші, більш продуктивні методи точної обробки отворів, наприклад алмазне розточування, хонінгування та ін. Найбільш істотна відмінність внутрішнього шліфування від зовнішнього круглого шліфування полягає в тому, що обробка проводиться кругом малого діаметру. Зазвичай діаметр кола при внутрішньому шліфуванні становить 0,7-0,9 діаметра шліфується заготовки.

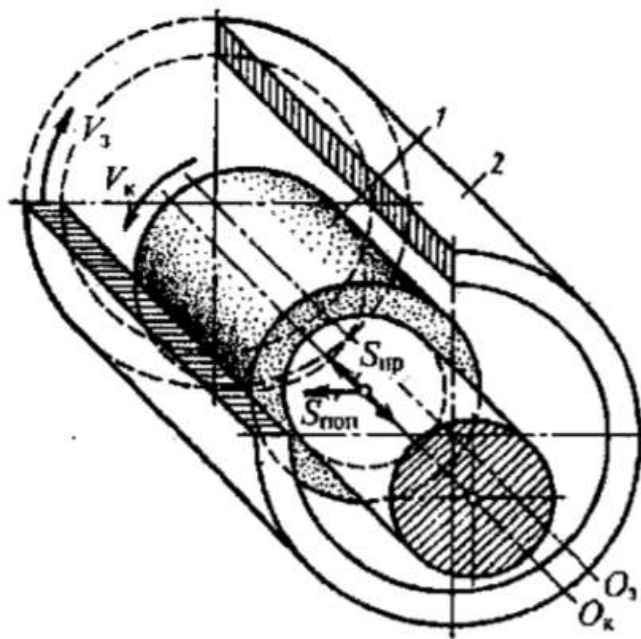


Рис. 1.1 – Схема внутрішнього круглого шліфування

Схема внутрішнього круглого шліфування показана на рис. 1.1. Шліфувальний круг 1 і оброблювана заготовка 2 обертаються навколо паралельних осей O_K і O_3 , здійснюючи відповідно руху V_3 і V_K . Зовнішня поверхня кола стосується внутрішньої циліндричної поверхні заготовки. Рух поздовжньої $S_{пр}$ і поперечної $S_{ппр}$ подач відбуваються так само, як при зовнішньому круглому шліфуванні і прикладені зазвичай до шліфувального кола (шліфувальні головки).

Обробка внутрішніх поверхонь може проводитися і методом врізного шліфування. Можуть оброблятися конічні і фасонні поверхні. Відносно мала жорсткість шпинделя шліфувального круга обмежує величину глибини різання (поперечної подачі), що становить (в залежності від діаметра отвору, що шліфується) при попередньому шліфуванні стали і чавуну 0,005-0,02 мм і при чистовому шліфуванні - 0,002-0,01 мм на один подвійний хід. Менші значення поперечної подачі застосовують при діаметрах отвори, що не перевищують 40 мм, і при великих відносинах довжини отвору до його діаметра. Величина поздовжньої подачі становить, як і при круглому зовнішньому шліфуванні 0,4-0,8 ширини кола - при чистовому і 0,25-0,4 ширини кола - при остаточному, причому менші значення застосовують при відношенні довжини отвору до діаметра, що дорівнює трьом. Отвори в деталях на внутрішньошліфувальних верстатах обробляють на прохід і врізання. Спосіб врізання використовують при обробці коротких, фасонних і глухих отворів, які не мають канавок для виходу кола. У всіх інших випадках застосовують шліфування на прохід, що забезпечує більш високу точність і менший параметр шорсткості поверхні.

При шліфуванні на прохід обробка, як правило, ведеться в одну операцію. У серійному і масовому виробництві на внутрішньошліфувальних верстатах забезпечується обробка з точністю 56-го квалітету і параметром шорсткості поверхні $R_a = 0,63 \dots 2,5$ мкм. При тривалому виходжуванні досягається параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,4$ мкм. Враховуючи малу жорсткість шпинделя шліфувального круга, необхідно на операціях внутрішнього шліфування знімати мінімальні припуски.

При малій жорсткості шпинделя верстата збільшення швидкості шліфувального круга особливо помітно впливає на підвищення продуктивності, точності і зниження параметра шорсткості поверхні. Вибір швидкості шліфувального круга обмежується небезпекою припалів через збільшену площу поверхні контакту круга з деталлю і труднощами підведення охолоджуючої рідини. З огляду на все сказане, круги для внутрішнього шліфування вибирають більш м'які, ніж для зовнішнього шліфування.

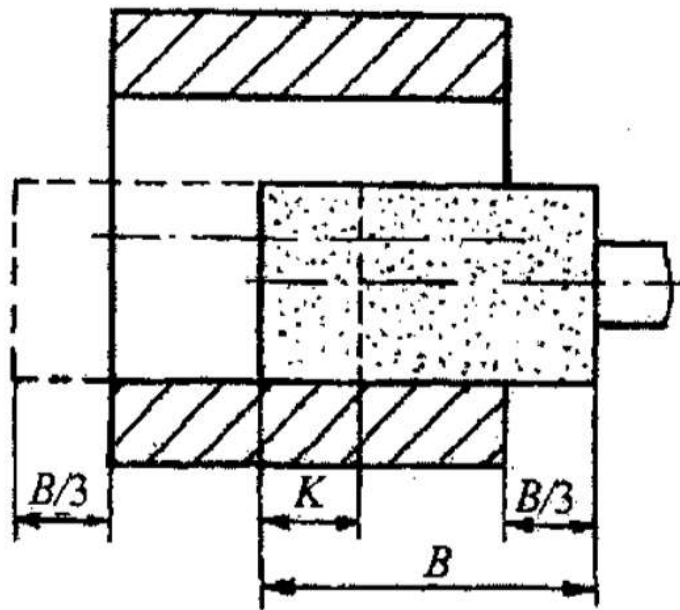


Рис. 1.2 – Схема контакту шліфувального круга з деталлю при шліфуванні з поздовжньої подачею

Крім того, слід стежити за тим, щоб в середній частині деталі перебувала зона перекриття K , яка характеризується постійним контактом шліфувального круга з поверхнею оброблюваної деталі в якому б положенні не перебував шліфувальний круг (рис. 1.2). Значить, на цій ділянці деталі знімання металу буде підвищеним. Але підвищеним він буде і по краях деталі, коли шліфувальний круг частково виходить за її межі і, відчуваючи підвищені зусилля притиску, що припадають на одиницю поверхні, що контактує з деталлю (а вона виявляється зменшеною), вривається в метал на велику глибину. Таким чином, загальне знімання металу по всій поверхні деталі вирівнюється, і деталь виходить правильної геометричної форми. Але найкраще висоту шліфувального круга брати або рівною, або більшою довжини оброблюваної деталі. У цьому випадку досягається найбільша точність геометричної форми оброблюваного отвору.

1.2 Внутрішнє безцентрове шліфування

Чорнова і чистова обробка циліндричних деталей типу кілець, втулок, циліндрів у великосерійному і масовому виробництвах здійснюється в безцентрових внутрішньошліфувальних верстатах (рис. 1.3) з поздовжньою і поперечною подачами.

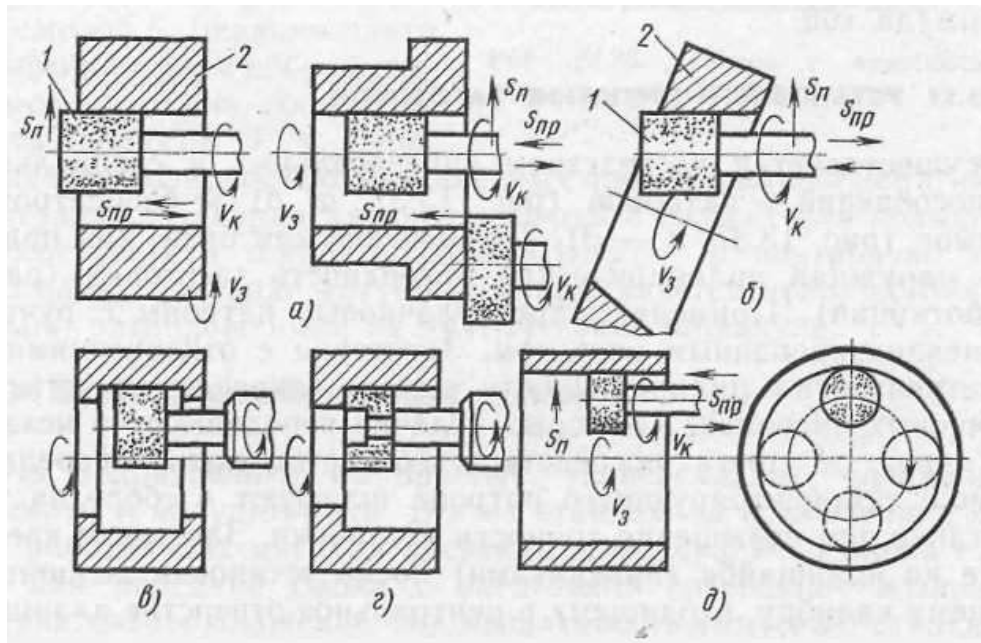


Рис. 1.3 – Схеми внутрішнього круглого шліфування: з поздовжньою подачею (а, б); з поперечною подачею (в, г); з планетарним ходом шліфувального круга (д)

При безцентровому внутрішньому шліфуванні деталей з поздовжньою подачею відбуваються ті ж рухи, що і при патронному внутрішньому шліфуванні з поздовжньої подачею, а при безцентровому внутрішньому шліфуванні з поперечною подачею, такі ж рухи, що і при патронному внутрішньому шліфуванні з поперечною подачею. При безцентровому внутрішньому шліфуванні швидкість обертання деталі визначається за раніше наведеною формулою (1.1).

$$V = \frac{\pi D_{B.K} \cdot n_{B.K} \cdot \eta}{1000} \cos \alpha \approx \frac{D_{B.K} \cdot n_{B.K} \cdot \eta}{318} \cos \alpha, \quad (1.1)$$

Де $D_{B.K}$ – діаметр ведучого круга;

$n_{B.K}$ – частота обертання ведучого круга;

η – коеф-т що враховує проковзування ведучого круга і заготовки;

α – кут нахилу осі ведучого круга;

Швидкість обертання деталі повинна становити 0,015-0,03 від швидкості шліфувального круга; при цьому великі значення вибирають при шліфуванні матеріалів, схильних до припалів і тріщин. При шліфуванні з поздовжньої подачею перебігаючи кола з кожного боку має дорівнювати 1/3, але не більше 1/2

висоти кола. Круг з отвору виводиться лише після закінчення шліфування або для редагування. Поздовжня подача не повинна перевищувати $3/4$ висоти кола на один оборот деталі. Число подвійних ходів столу і частота обертання деталі не повинні складати передавального відносини, рівного цілому числу. Деталі при Безцентрово шліфуванні не закріплюються на верстаті, а базування їх здійснюється по зовнішньому діаметру при контакті його з підтримуючим і притискним роликами і з ведучим кругом. Тому до заготовок, що надходять на безцентрове шліфування пред'являються підвищені вимоги по точності взаємного розташування концентричних поверхонь внутрішнього і зовнішнього діаметрів.

1.3 Планетарне внутрішнє шліфування

Внутрішнє планетарне шліфування застосовується для обробки великих отворів діаметром більше 150 мм в корпусних деталях, часто - великогабаритних. Шліфувальний круг, обертаючись щодо осі шпинделя здійснює додатково планетарний рух, тобто обертання щодо осі отвору, що шліфується. Поздовжня подача здійснюється зворотньо-поступальним рухом заготовки, поперечна - переміщенням шліфувального круга.

При шліфуванні цим методом досягається висока точність обробки діаметрального розміру: при чистовому шліфуванні 5-6 квалітети точності при шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,25-1,25$ мкм. Схема планетарного внутрішнього шліфування показана на рис. 1.3 (д).

1.4 Загальні уявлення про характер впливу швидкості різання на вихідні параметри процесу шліфування

У сучасному машинобудуванні все ширше застосовуються високо міцні, нержавіючі, жаростійкі і інші сталі і сплави, що володіють спеціальними фізико механічними властивостями. Обробка їх різанням представляє значні труднощі. Широке поширення шліфування як методу викінчувальної обробки заготовок відповідальних деталей машин вимагає відповідного підвищення ефективності цього процесу. Од ним з найбільш перспективних напрямків для вирішення цього

завдання є підвищення швидкості обертання круга. Результатом фундаментальних теоретичних і експериментальних досліджень в області шліфування, отримані в роботах відчизняних і зарубіжних авторів, і накопичений практичний досвід показали великий вплив швидкості різання на вихідні параметри процесу шліфування. Реалізація переваг, отриманих при збільшенні швидкості, дозволила різко підвищити ефективність операції шліфування.

Зустрічається іноді тенденція до підвищення швидкості кола на всіх операціях шліфування - помилкова. Подальший розвиток шліфування і досвід його впровадження на виробництві показали, що далеко не завжди збільшення швидкості різання приводить до підвищення ефективності процесу. При цьому з'являється ряд не тільки позитивних, але і негативних явищ, таких як збільшення потужності приводів, контактної температури, відцентрових сил, вібрацій від неврівноважених мас, циклічного навантаження на коло та ін. Все це вимагало розробки і створення нових конструкцій шліфувальних верстатів і технологій виготовлення абразивного інструменту та ін., що призвело до позитивних результатів. Таким чином, при вивченні процесу шліфування, з точки зору його технологічних можливостей, слід розглядати питання вибору раціональних швидкостей різання найбільш ефективних для кожної конкретної операції.

1.5 Аналіз можливості підвищення продуктивності обробки при високошвидкісному шліфуванні

Продуктивність будь-якої, в тому числі і шліфувальної, операції визначається кількістю заготовок, оброблених в одиницю часу на даному верстаті, і залежить від швидкості зняття припуску з заготовки. Більшість дослідників вважають, що збільшення швидкості різання дозволяє одночасно збільшити подачу (швидкість знімання металу) і тим самим зменшити основний час обробки. При цьому можлива зміна періоду стійкості кола і, відповідно, часу обслуговування, що витрачається на його правку. Для кількісної оцінки можливостей збільшення знімання металу при високошвидкісному шліфуванні наведемо аналіз рівняння

середньої товщини зрізу, що знімається одним абразивним зерном на робочій поверхні круга,

$$a_z = \frac{V_n}{60 \cdot V_k \pm 2 \cdot V_n} \cdot l_\Phi \cdot \sqrt{t_\Phi} \cdot \sqrt{\frac{D+d}{D \cdot d}} \cdot \frac{S}{B}, \text{ мкм}, \quad (1.2)$$

або спрощений варіант цієї залежності:

$$a_z = 8 \cdot \sqrt{\frac{Q_{y\lambda}}{C \cdot V_k}} \cdot \sqrt{\frac{D+d}{D \cdot d}}, \text{ мкм}. \quad (1.3)$$

З наведених рівнянь видно, що якщо зі збільшенням швидкості круга підвищувати глибину різання або подачу (швидкість знімання припуску), то товщина зрізу залишається постійною.

Відомо, що зі збільшенням швидкості круга збільшується кількість ріжучих крайок на його робочій поверхні, по відношенню до кромek, що виконують тільки роботу пружної і пластичної деформації. Ця обставина не враховується в наведених вище рівняннях. Крім того, в залежності від швидкості різання змінюються опір металу зрізу і робота тертя, при цьому слід враховувати, що процес різання при шліфуванні відбувається в нагрітому шарі металу, а контактна температура при шліфуванні також залежить від швидкості різання.

Застосування швидкісного шліфування (до 60 м/с) дозволяє збільшити швидкість знімання металу при постійній швидкості кола за рахунок одночасного збільшення швидкості заготовки, поздовжньої і поперечної подач. При цьому якість шліфованих поверхонь залишається незмінним. Аналогічні результати при обробці конструкційних сталей, зі швидкостями різання до 50 ... 60 м/с.

Вплив швидкості різання на знімання металу при шліфуванні різних по оброблюваності сталей наведено в роботі [1] (табл. 1.2). Аналіз виконаних досліджень показує, що ефективність від збільшення швидкості кола різна при обробці різних матеріалів. Пояснювати отримані результати тільки впливом температури на видаляється шар металу і його разупрочнение неправильно.

Таблиця 1.2 Вплив швидкості різання на знімання металу при шліфуванні різних сталей з постійним радіальним підсиленням

Сталі що оброблюються	Питоме знімання металу мм ³ /хв		Сталі що оброблюються	Питоме знімання металу мм ³ /хв	
	$V_k = 35$ м/с	$V_k = 50$ м/с		$V_k = 35$ м/с	$V_k = 50$ м/с
45	78	140	12ХН3А	68	78
20	70	132	38ХМ0А	50	77
50Г	68	123	38ХСА	56	68
20Х	71	112	30ХГТ	54	66
45Х	62	82	18ХНВА	50	59
20ХН3А	57	81	30НГНА	46	55

Здається, позначається також зменшення коефіцієнта тертя абразивного зерна і зв'язки кола, опір металу різання, відмінність в складі МОР, системі її підведення, тиску та ін. Однак невеликий діапазон досліджуваних швидкостей різання (35 ... 50 м/с) не дозволяє зробити конкретні висновки. З результатів, наведених в табл. 1.2, видно, що при шліфуванні сталей 20 і 45 збільшення швидкості різання в 1,43 рази призводить до збільшення швидкості знімання металу в 1,8 ... 1,9 рази, а при шліфуванні сталей 18ХНВА, 30ХГНА і 30ХГТ - всього лише в 1,2 рази. Таким чином, для металів які легко шліфуються можливість збільшення швидкості знімання металу значно більше, ніж для тих що важко шліфуються, що можна пояснити швидким затупленням кола при шліфуванні останніх.

Таблиця 1.3 Граничні швидкості знімання металу при круглому зовнішньому шліфуванню нормалізованої сталі 45 з різними швидкостями різання та умовами охолодження

Характеристика круга і її вітчизняний аналог	Гранична швидкість знімання металу мм ³ /мм*с				
	V _k = 30 м/с, V _n = 18 м/хв	V _k = 60 м/с, V _n = 18 м/хв	V _k = 60 м/с, V _n = 18 м/хв	V _k = 60 м/с, V _n = 18 м/хв	V _k = 30 м/с, V _n = 18 м/хв
EK60 L6Vx (24A25CM2K6)	2	2	4—5	8	12
EK60 J0txYx (24A25M36K)	3	3	6	10	15
Охолодження	Емульсія поливом	Емульсія поливом	Емульсія поливом	Емульсія + відхилення потoku повітря	Емульсія + тиск

У табл. 1.3 наведені дані, які показують значно більші можливості високошвидкісного шліфування, з точки зору збільшення швидкості знімання металу. Граничні значення швидкостей знімання металу отримані при врізному круглому зовнішньому шліфуванні нормалізованої сталі 45 при швидкостях різання 30 і 60 м / с. Обмеження для граничної виразний подачі при швидкості 30 м / с - вібрації і ограновування, при швидкості 60 м / с - поява припалів. Ефект отриманий за рахунок наступного:

- одночасно зі збільшенням швидкості різання збільшується швидкість заготовки;

- використовується удосконалення системи охолодження заготовки. Це удосконалення полягає у відхиленні повітряного потоку від зони обробки і подачі МОР під підвищеним тиском. За рахунок цього виходить додатковий ефект, який

дозволив збільшити граничне зняття металу в 5...6 разів у порівнянні зі звичайним шліфуванням.

Таблиця 1.4 Вплив швидкості різання на граничну швидкість зняття металу ($Q_{\text{гр}}$, мм³/мм*с) при шліфуванні різних сталей

Матеріал що оброблюється і вітчизняний аналог	Швидкість різання, м/с				
	20	40	60	80	90
CK45 N (сталь 45, нормаліз.)	8	23	50	90	114
X10 Gni MoTi 1810 (X18H10T)	8	20	35	65	100
S 6-5-2 P6M5 (HRC63,5)	7	22	47	80	105
S 12-1-14 P12Φ5M (HRC64)	5	18	36	60	73
100 G Mn 6 ШХ15СГ (HRC61)	7	22	48	85	110

В роботі [7] виконано дослідження граничних значень швидкостей знімання металу при шліфуванні різних по оброблюваності сталей в діапазоні швидкостей різання 20...90 м/с. На круглошліфувальному верстаті шліфувалися зразки зі зростаючою врізною подачею і з вимірюванням складових сил різання. Гранична продуктивність розраховувалася за граничним значенням врізної подачі в момент стрибкоподібного зміни зносу круга і зменшення складових сили різання. Результати шліфування різних по оброблюваності сталей наведені в табл. 1.4

Аналіз даних показує, що гранична продуктивність при всіх досліджуваних швидкостях різання практично не залежить від оброблюваності матеріалу. Крім того, при постійній швидкості різання гранична продуктивність для різних сталей

відрізняється на 15...50%, тобто Сталь 45, X18H10T і P6M5 обробляються приблизно однаково у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей різання.

Ефективність застосування високошвидкісного шліфування розглянута в роботах [3,5], в яких на підставі теоретичних досліджень доводиться, що збільшення швидкості кола має привести до пропорційного зменшення сили різання, збільшення знімання металу на одиницю сили різання і зменшення шорсткості поверхні. Зменшення сили різання і шорсткості заготовки є наслідком зменшення розмірів стружки що видаляється при збільшенні швидкості круга. Якщо допустити, що питома потужність шліфування постійна, то стане очевидним, що найбільші переваги від застосування високих швидкостей круга полягають в пропорційному збільшенні інтенсивності знімання матеріалу при тих же силах різання. Це припущення узгоджується з результатом, отриманим в роботі [4], в якій встановлено, що застосування високих швидкостей круга дозволяє отримати інтенсивність знімання матеріалу при круглому шліфуванні, яку можна порівняти з інтенсивністю знімання при точінні. Однак в роботі [3] встановлено, що є деяка практично допустима межа максимальної швидкості круга, вище якої помітно зростають додаткові витрати на обладнання та пристрої, що забезпечують безпеку роботи.

Таким чином, з викладеного вище видно, що збільшення швидкості круга дозволяє збільшити швидкість знімання металу. Ступінь збільшення знімання металу залежить не тільки від значення швидкості різання, але і від інших умов шліфування (потужності і жорсткості верстата, умов охолодження зони шліфування, зносу кола та ін.), А також від обмежень по точності і якості шліфованих поверхонь. Цією обставиною пояснюються відмінності в значеннях граничних швидкостей знімання, отриманих різними дослідниками. Практичне використання отриманих даних важко, тому що всі вони є чисто експериментальними, придатними тільки для конкретних умов шліфування.

1.6 Влив швидкості круга на силу різання, контактну температуру і якість шліфованої поверхні

95% від всієї загальної енергії шліфування витрачається на тертя і близько 5% - на розпорошення металу в найтонших поверхневих шарах шліфованих матеріалів з одного боку і на поверхні абразивних зерен кругів з іншого. В даний час вважається встановленим також, що деформація в процесі різання йде шляхом зсуву. Для спрощення розрахунків прийнято вважати, що зрушення при різанні йдуть в основному в площині максимальних дотичних напружень, нахил якої до напрямку різання визначається кутом зсуву [3]. Однак експериментами доведено [4], що область зсуву при шліфуванні не обмежується однією площиною, а являє собою певну зону, розміри якої зменшуються зі збільшенням швидкості різання.

В роботі [3] показано, що підвищення швидкості кола до 60 ... 80 ... 120 м / с призводить до зниження складових сили різання і шорсткості шліфованої поверхні при практично незмінній геометричній точності, що створює значний резерв для підвищення продуктивності шліфування. Це пояснюється тим, що зі збільшенням швидкості круга збільшується число контактів зерен з оброблюваною поверхнею в одиницю часу і, отже, зменшується товщина зрізу і зусилля, що припадає на одне зерно, але підвищується температура шліфування, що призводить до збільшення потужності і теплоутворення при зовнішньому терті, в результаті чого метал в зоні різання пластфікується і його опір різанню зменшується. Якщо ж одночасно зі збільшенням швидкості різання збільшувати швидкість знімання металу, то значення складових сили різання збільшується.

Дослідження фірми Нортон показали [3], що при збільшенні V_k з 30 м/с до 60 м/с сили різання і шорсткості обробленої поверхні зменшуються в 2 рази, а знос круга зменшується на 25%. За даними Х. Опітц [1, 6] сили різання зменшуються на 80% при швидкості кола 90 м/с в порівнянні з 30 м/с. Наводяться такі дані: при обробці конструкційних сталей $V_k = 20$ м/с, $R_a = 2$ мкм, питоме знімання дорівнює 480 мм³/хв; при $V_k = 90$ м/с, $R_a = 1,8$ мкм, питоме знімання - 6600 мм³/хв·мм. В роботі [1] наводиться емпірична формула залежності сили P_y від швидкості кола,

$$P_y = \left(1 / V_k \right)^{0,79 \dots 1,47}.$$

Чим менше зернистість, тим більше показник ступеня. Вказується на зниження шорсткості поверхні при зменшенні товщини зрізу.

Збільшення сил різання при роботі грубозернистими колами пояснюється зменшенням кількості працюючих зерен, в результаті чого збільшується перетин одиничного зрізу абразивним зерном. Велике значення сумарної сили різання для крупнозернистих кіл визначається також погіршенням співвідношення товщини зрізу і радіуса округлення зерен. Крім того, у наведеній формулі не враховуються інші параметри процесу обробки (глибина різання, подача, охолодження та ін.), Які мають істотний вплив на сили різання.

Одним з основних показників процесу обробки заготовок є якість обробленої поверхні. Якість поверхні при шліфуванні погіршується в міру збільшення сили різання. В умовах експерименту [2] отримані дані, що шорсткість поверхні при шліфуванні пропорційна середній товщині стружки, що утворюється в процесі шліфування. Підвищення температури в зоні різання, а також зміна процесу пластичної деформації під дією сил різання, безпосередньо впливає на фізікомеханічні властивості поверхневого шару заготовки при високошвидкісному шліфуванні. Якщо вважати, що визначальним фактором при формуванні поверхневого шару заготовки при шліфуванні є тепловий процес, а роль силового фактора мала, то в залежності від режимів, що визначають інтенсивність виділення тепла в зоні різання і тривалість теплового впливу кола на поверхню заготовки, можна виділити два основних види структурних перетворень по глибині поверхневого шару: 1 верхній шар (вторинного гартування) лежить на «відпущеному» шарі металу, минутому поступово через всі стадії відпустки в структур вихідного матеріалу; 2 - верхній шар вторинного «відпущеного» металу лежить безпосередньо на вихідній структурі.

Шліфування корундовими кругами, навіть при невеликих подачах і частих правки круга, викликає падіння мікротвердості поверхневих шарів через появу зон перегартованому і відпущеного металу. На багатьох зразках були виявлені

мікротріщини, викликані значними температурними напругами. Всі ці дефекти металу поверхневого шару відсутні при шліфуванні кругами з ельбору. Це пояснюється тим, що в швидкорізальних сталях, особливо легованих ванадієм, кобальтом і молібденом, є карбіди, твердість яких наближається до твердості абразивних матеріалів (корунду і електрокорунду), що призводить до швидкого затуплення кругів з електрокорунду. Крім того, спостерігається явище «засолювання» кругів. Твердість ельбор вище твердості карбідів, присутніх в швидкорізальних сталях, і ельборові круги, так само як і алмазні, добре працюють в режимі рівномірного самозаточування. При шліфуванні швидкорізальних сталей, особливо з підвищеним вмістом ванадію і вольфраму, застосування кругів з металізованого нікелем кубічного нітриду бору дозволило отримати більш високі значення питомої знімання при шліфуванні. При цьому якість поверхні значно вище, відсутні шліфувальні прижоги і тріщини. Витрати ж на обробку нижче, ніж при шліфуванні корундовими і електрокорундовими кругами.

При збільшенні швидкості різання до 100 м/с глибина наклепаного шару зменшується так само, як і усадка стружки, але при подальшому збільшенні швидкості усадка стружки залишається постійною, а глибина наклепаного шару зростає, за іншими експериментальними даними глибина наклепаного шару стабілізується. Можна припустити, що зменшення глибини наклепаного шару відбувається за рахунок зменшення сил різання, в зв'язку зі зменшенням навантаження на кожен ріжучу кромку, тобто зменшення фактичної глибини різання. При швидкостях вище 100 м/с в технологічній системі можуть з'являтися вібрації, що призводить до зростання неоднорідності наклепаного шару.

Зі збільшенням швидкості обробки з 45 до 100 м/с шорсткість поверхні зменшується. У деяких дослідженнях є зауваження, що шорсткість обробленої поверхні зі збільшенням швидкості круга спочатку зменшується, однак при швидкостях понад 50...60 м/с зменшення шорсткості відбувається значно повільніше. Зменшення шорсткості пояснюється збільшенням числа ріжучих

кромки, що проходять через дане перетин заготовки в одиницю часу зі збільшенням швидкості різання.

2 ПАРАМЕТРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ

2.1 Рельєф робочих поверхонь шліфувальних кругів

З теорії різання відомо, що сила різання залежить як від величини кутів заточки різця, так і від радіуса округлення його ріжучої частини. Зі збільшенням радіуса округлення сила різання зростає, але при цьому зменшується шорсткість обробленої поверхні. Геометрична форма робочої поверхні круга, як і різця, дуже впливає на хід процесу шліфування і його вихідні параметри, такі як сила різання, температура, товщина одиничних зрізів, шорсткість обробленої поверхні і ін. Вони визначаються числом активних ріжучих крайок на робочій поверхні абразивного круга і їх геометрією.

Складність виміру і опису рельєфу кола обумовлена величезним числом надзвичайно дрібних, від декількох мікрометрів до 30...40 мкм, різальних крайок, що мають випадкову геометричну форму і хаотично розташованих на поверхні кола. Ці ріжучі кромки з великою швидкістю (20...200 м/с) переміщаються щодо заготовки, проникаючи на різну глибину і залишаючи на ній ризики. Тому такі важливі показники, як кути різання, товщина шару металу, зрізати кожної ріжучої крайкою, число різальних крайок, що одночасно беруть участь в процесі шліфування, є випадковими величинами, залежними від рельєфу круга і режиму різання.

Для визначення числа ріжучих зерен при уповільненому в 20 000 разів шліфуванні з постійним радіальним зусиллям фіксували число завданих подряпин і зіставляли його з числом зерен на 1 см^2 поверхні кола. Решту зерен вважали нерезучими. Деякі дослідники враховували кількість теплових імпульсів при шліфуванні дротяних термопар малого діаметра (до 0,1 мм) і порівнювали його з раніше знайденими числом зерен на поверхні, що пройшла над термопарою.

Отриманий в конкретних умовах результат - 11,4% зерен зрізали стружку з дроту - автори пояснюють не тим, що інші зерна пластично деформують метал, а тим, що 88,6% зерен потрапляють в раніше прорізані канавки і стружки не знімають.

Результати багатьох робіт засновані на тому, що ризики на шліфованій поверхні приблизно в 10 разів довше, ніж за розрахунком. На підставі цього робиться висновок, що всю роботу по зніманню металу виконують приблизно 10% зерен, формуючи довгі і глибокі риски. Наведений короткий аналіз дозволяє обґрунтувати такі припущення, які становлять сутність геометричної моделі процесу шліфування: абразивні зерна шліфувального круга, що вступають в контакт з оброблюваною заготівкою, формують на її поверхні риски. Основна частину рисок утворюється в результаті зрізання металу, причому частка таких рисок збільшується з ростом швидкості шліфування, менша - в результаті пластичної деформації без зняття стружки.

Для оцінювання можливості використання даних про геометричні параметри зерен в аналізі процесу формування рельєфу шліфованої поверхні має значення той факт, що реальна геометрія кромки істотно відрізняється від вихідної геометрії зерен навіть з урахуванням їх орієнтації. Геометрія різальних крайок формується в процесі виправлення і роботи кола. На зернах утворюються відколи і майданчики. При цьому радіус округлення кромки може бути значно менше радіуса цілих зерен. В інших випадках в зовнішньому шарі рельєфу на деяких зернах утворюється кілька ріжучих крайок. Крім того, слід враховувати і роль зв'язки, яка в одних випадках допускає розщеплення зерна і утримує його на робочій поверхні круга, а в інших - не утримує.

Геометрія різальних крайок формується в процесі виправлення і роботи кола. На зернах утворюються відколи і майданчики. При цьому радіус округлення кромки може бути значно менше радіуса цілих зерен. В інших випадках в зовнішньому шарі рельєфу на деяких зернах утворюється кілька ріжучих крайок. Крім того, слід враховувати і роль зв'язки, яка в одних випадках допускає

розщеплення зерна і утримує його на робочій поверхні круга, а в інших - не утримує.

2.2 Комп'ютерний метод оцінки робочої поверхні шліфувального круга

У цьому параграфі ми розглянемо комп'ютерний метод порівняння і оцінки шліфувальних інструментів за рахунок аналізу профілограм робочих поверхонь шліфувальних кругів, розроблений в технічному університеті м Лодзь (Польща) [4]. В основу методу покладена імітація процесу шліфування. Статистичні параметри імітації є основою порівняльної оцінки і вибору шліфувального круга з кращими ріжучими характеристиками. Багаторічний досвід в дослідженнях методики оцінки робочих поверхонь шліфувальних кругів (РПШК) і аналізу отриманих результатів дозволили сформулювати логічний алгоритм міркувань. Базується він на наступних засадах (передумови). Передумова перша. Аналіз повинен вказати такий шліфувальний круг, який має кращі ріжучі властивості в процесі шліфування. Передумова друга. Аналізу піддається порівняння двох множин статистичних параметрів, що характеризують стан РПШК двох порівнюваних шліфувальних кругів. Безліч дозволяє побудувати статистичні гістограми:

- висоти статичних різальних крайок (S);
- висоти активних ріжучих крайок (H);
- кінематичні товщини стружок (T);
- відстані між активними ріжучими крайками (L).

Передумова третя. Аналіз і порівняння гістограм виконується за допомогою численних величин, що характеризують гістограми обраних параметрів в області кількісної ріжучими крайками (L). Передумова третя. Аналіз і порівняння гістограм виконується за допомогою численних величин, що характеризують гістограми обраних параметрів в області кількісної і якісної оцінок. Ці чисельні значення визначені далі як статичні індекси. До них належать: середнє арифметичне; середньоквадратичне відхилення (d); сума чисел (SL); розташування найбільшого зосередження змінної (R3); число найбільшого зосередження змінної (LR3). Останні два визначника відносяться до групи трьох чергових класів гістограм, що зосереджують найбільше число змінних в гістограмі. Відповідають вони в наближенні чисельної модульної величиною і її кількості, але на них не впливають крайові змінні гістограми. Прийняті припущення визначають інтервал функціонування методу порівняння

шліфувальних кругів. На рис. 2.1 представлений приблизний алгоритм впливу. В основній частині

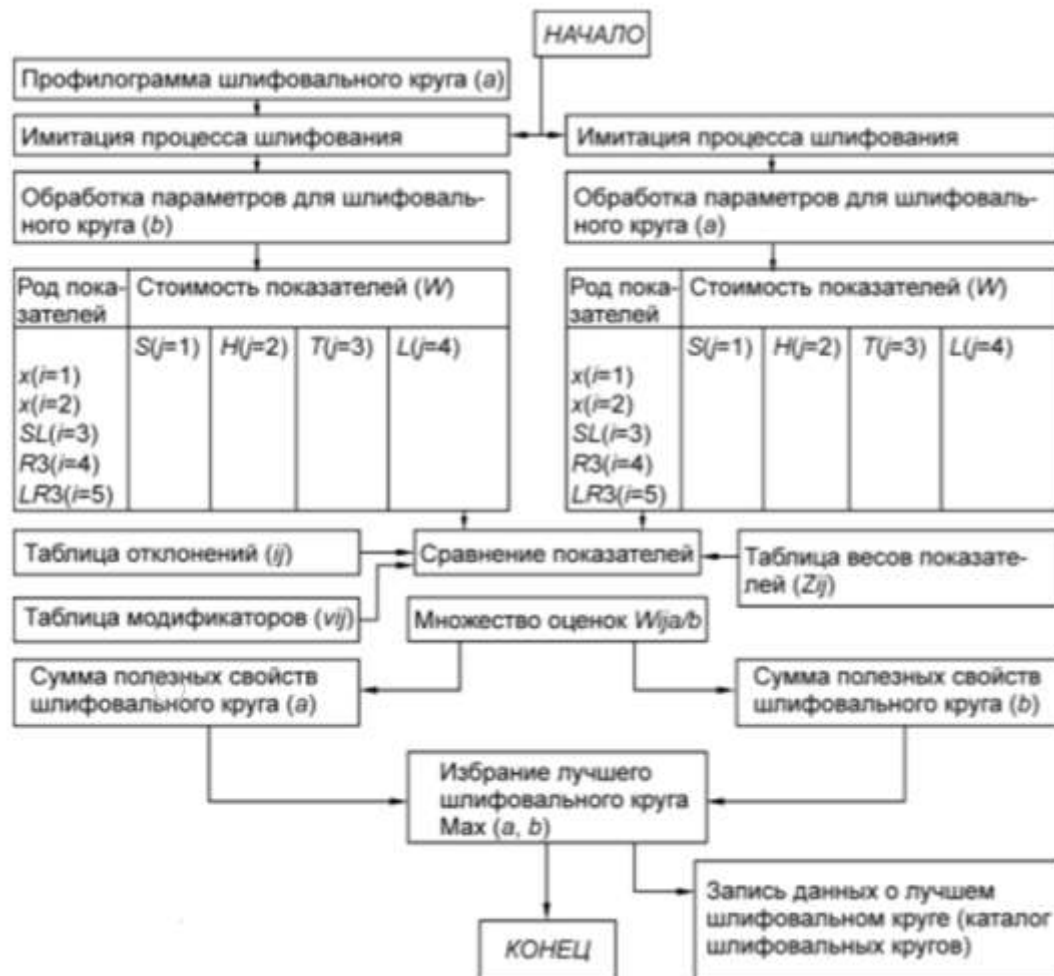


Рис. 2.1 – Схеми процедури оцінки робочої поверхні шліфувального круга

алгоритму відбувається порівняння відповідних один одному визначників для двох шліфувальних кругів за схемою, описаною нижче. Результат порівняння i -го визначника для j -го параметра оцінки виходить:

- якщо результат порівняння показників поміщається в $D_{ij} < 0$, то порівнювані шліфувальні круги приймаються як дуже мало помітні за властивостями в i -ом показнику j -го параметра. Зміна вартості показників поміщається в межах інтервалу нечутливості методу;

- до подальших дій не приступали, якщо $D_{ij} = 0$;

- якщо $D_{ij} > 0$, то різниця між порівнюваними шліфувальними кругами значна і впливає на результат кінцевої оцінки.

Можна вважати, що значення приватних показників в різних статистичних параметрах не будуть однаковими. Для обліку рангу кожного з показників введена можливість його пропорційного зміни. Отримана сукупність результатів вимагає подальшої інтерпретації, при якій шліфувального круга треба надати почергово позитивні властивості. До цього належать введені раніше в програму критерії хороших ріжучих властивостей. Постійні, необхідні для правильного функціонування програми, представлені табл. 2.1, що містить: межі нечутливості показників, що враховують помилку реалізації методу (таблиця відхилень); ранг окремих показників (таблиця показників); рекомендовані вартості показників (таблиця ваг).

Таблиця 2.1 Таблиця вагів, розроблена для оцінки різальної здатності шліфувальних кругів.

Таблиця відхилень статистичних показників				Показник статистичний	Таблиця вагів для оцінки різальної здатності			
Параметри РПШК, %					Параметри РПШК			
S	H	T	L		S	H	T	L
1.0	6.3	9.9	5.8	<i>x</i>	+1	+1	+1	+1
0.3	3.3	2.6	3.3	6	+1	+1	+1	+1
0.1	20.0	12.2	17.6	SL	-1	-1	-1	-1
0.3	36.4	25.1	5.3	R3	-1	-1	+1	+1
1.6	23.1	14.3	31.0	LR3	-1	-1	-1	-1

Складання таблиці відхилень можна реалізувати шляхом твору вимірювань до аналізу РПШК, повторюваних для самих різних шліфувальних кругів, що враховує вірогідну структуру інструменту і помилки методу вимірювання. Складання таблиці модифікації залишається поки найважчим завданням. Пропонується тут прийняти поки постійні модифікування $V_{ij} = 1$, а в міру

накопиченого досвіду провести коригування. Підготовка таблиці ваг може бути проведена на основі аналізів РПШК, виконаних багатьма авторами. Телевізори з таким побудова таблиці (щоб полегшити комп'ютерний аналіз): коли вигідна велика вартість показника ріжучої здатності шліфувального круга, тоді показник в таблиці позначити «+1»; коли більш вигідна менша вартість показника, тоді показник в таблиці позначити «-1»; коли вартість не впливає на ріжучу здатність шліфувального круга, показник в таблиці позначити «0». Аналіз складених таблиць дозволяє оцінити ріжучу здатність кожного абразивного круга в балах. Велика сума балів вказує на велику ріжучу здатність круга. Визначення відхилення вартості показників вироблено з використанням спеціального профілометра для дослідження робочих поверхонь. Вимірювання робочих поверхонь шліфувальних кругів проводилися багаторазово на одному і тому ж слід (оцінюючи відхилення вимірювань), а також в різних місцях зовнішньої поверхні (оцінка однорідності шліфувального круга). Результати двох таких вимірювань поміщені в табл. 2.1, з якої видно виходять іноді надмірно великі вартості відхилень, що поки дещо обмежує можливості запропонованого методу. Значну частку похибки в цих відхиленнях вносить недосконалість профілометра і самого методу профілографування. Тому необхідні роботи, які повинні зменшити помилки вимірювань. Таблиця ваг розроблена на основі припущень, що впливають з ходу процесу шліфування, від якого очікується висока продуктивність. При шліфуванні необхідно, щоб різання відбувалося з малим споживанням енергії. Тому активні ріжучі кромки повинні бути розміщені можливо рівномірно, - це значить на однаковій висоті і на однакових відстанях один від одного. Другою умовою ефективного різання є критерії, пов'язані з товщиною мінімальної стружки. При шліфуванні конструкційних сталей і при підвищених швидкостях обробки товщина стружки приймається розміром близько 1 мкм. Поглиблення активних кромки на меншу глибину призводить в основному до пружної або пружнопластичної деформації. Ці умови знаходять відображення в конфігурації гістограм, які представляють параметри оцінки РПШК і впливають на вартість статичних показників. Докладний аналіз кожного з

цих параметрів дозволив розробити таблицю ваг. Таким чином, розроблена комп'ютерна програма аналізу профілограм РПШК дозволяє вибирати шліфувальний круг з кращого ріжучої здатністю без проведення натурних експериментів. Крім того, алгоритм запропонованої програми може в майбутньому допомогти розробці багатокритеріальної оцінки РПШК.

2.3 Утворення шліфовочних рисок

При обробці заготовки шліфувальним кругом на її поверхні утворюється сукупність рисок від вершин абразивних зерен. Процес утворення шліфувальних рисок під впливом ріжучої кромки містить кілька стадій: стадія пружного ковзання ріжучої кромки поступово переходить в стадію пластичного деформування металу з утворенням напливів по сторонам і «розмазування» металу по поверхні риски. При досягненні критичної глибини різання (мінімальної товщини зрізу $a_{z \min}$, з якої починається процес утворення стружки) настає третя стадія - зрізання шару металу. При підвищенні швидкості різання процес мікрорізання змінюється: зменшується сила різання і умовні напруги різання, процес зняття стружки починається при менших значеннях товщини зрізів зі зменшенням слідів пластичної деформації і т. д.

Всі ці та інші зміни істотно впливають на процес утворення шліфувальних рисок, на розміри навалів з боків рисок, на властивості поверхневого шару.

Збільшення швидкості до 160 м/с призводить до змін в утворенні рисок. Мікрорельєф їх поверхні стає більш однорідним і рівним, бороздки являють собою сліди різання, лусочки і розриви волокон металу майже відсутні. Ці явища характерні для всіх досліджуваних матеріалів. При утворенні значної площі зносу на вершині абразивного зерна мікрорельєф рисок змінюється: в результаті дії затупленою вершини з грубим мікрорельєфом поверхні площадки зносу з налиплим на неї металом зустрічаються нерівності з великими кроками (20...30 мкм), з'являються розриви металу на поверхні. При збільшенні швидкості різання до 160 м/с ці дефекти повністю не зникають. По бічних сторонах риски виявлені

напливи металу, які є результатом пластичного деформування. Вони спостерігаються при мікрорізанні всіх досліджуваних сталей у всьому діапазоні швидкостей різання.

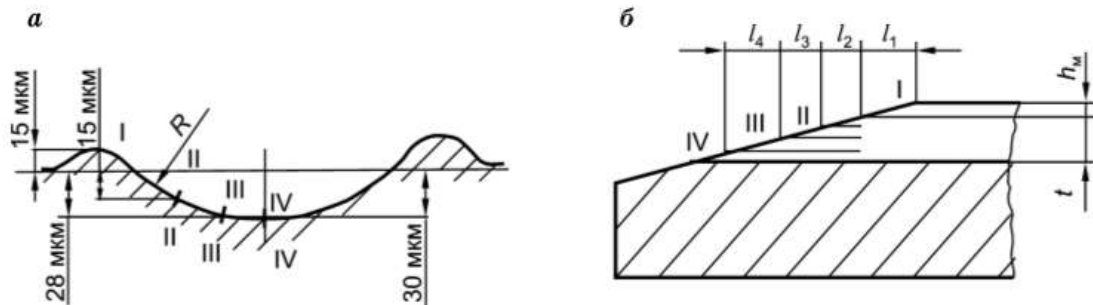


Рис. 2.1 – Поперечний (а) і поздовжній (б) перетин риски в областях визначення мікротвердості

При мікрорізанні одиничним абразивним зерном всіх досліджуваних сталей у всьому діапазоні швидкостей різання від 20 до 160 м/с припалів на поверхні не спостерігалось. Вимірювання мікротвердості виконувалось в напрямку, перпендикулярному профілю поверхні риски в перетинах I-IV (див. Рис. 2.1) з обох сторін риски.

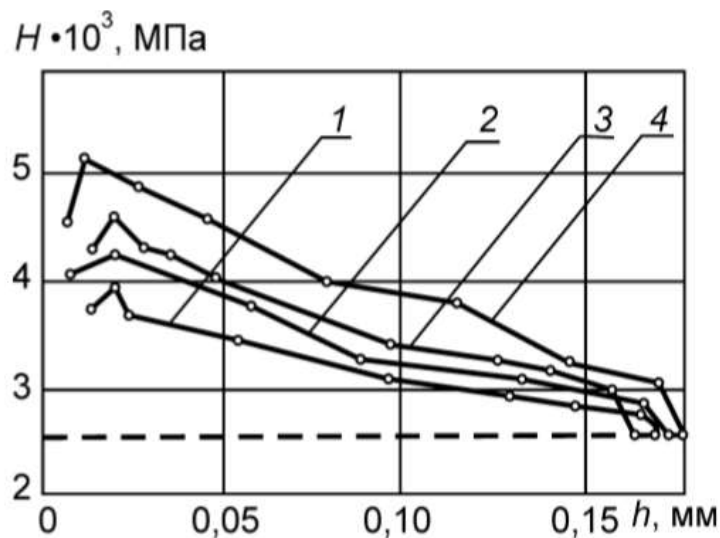


Рис. 2.2 – Зміна мікротвердості за профілем перетину риски при мікрорізанні сталі 12X18H10T; $V_k = 40$ м / с; $t = 0,03$ мм

Результати вимірювань наведені на рис.2.2, з якого видно, що найбільше зміцнення відбувається на дні риски (область IV, рис.2.1), бічні сторони

зміцнюються менше, область напливів - ще менше. Це свідчить про те, що при утворенні дна риски пластична текучість металу відбувається як би в замкнутому просторі, так як вершина абразивного зерна з великим негативним переднім кутом підминає під себе частину напливу, що утворюється попереду. При цьому метал на дні риски набуває сильно напружений стан, що призводить до збільшення зміцнення в порівнянні з бічними сторонами і областю напливів, куди пластична текучість металу відбувається вільніше.

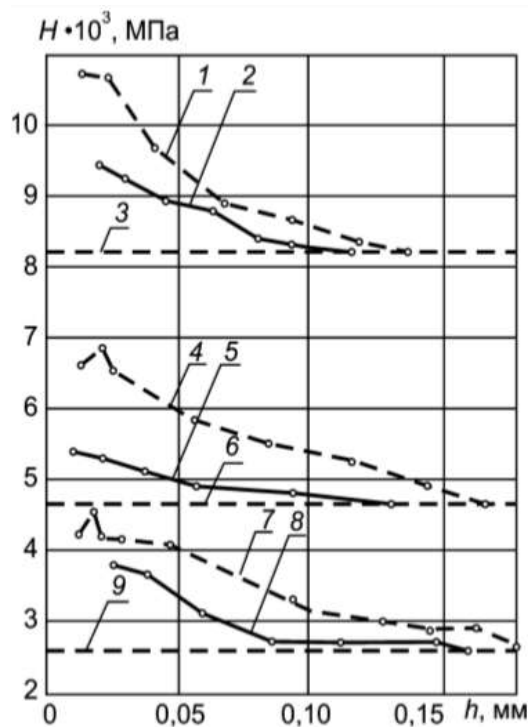


Рис. 2.3 – Зміна мікротвердості перетинів рисков при мікрорізання зразків із сталей: P18 (криві 1,2), 45 (4,5) і 12X18H10T (7,8) одиничним абразивним зерном з 24А при швидкостях різання: 40 м/с (пунктирні лінії) і 160 м/с (суцільні лінії).

Глибина різання - 0,03 мм. Прямі 3, 6 і 9 - для сталей P18, 45, 12X18H10T відповідно в початковому стані.

Глибина зміненого шару уздовж всього профілю риски приблизно однакова і дорівнює 0,17 мкм. Швидкість різання істотно впливає на формування поверхневого шару шліфувальної риски: зі збільшенням швидкості інтенсивність зміни мікротвердості і глибина зміненого шару помітно зменшуються при обробці всіх досліджуваних сталей (рис. 2.3). Наприклад, для Сталі 45 ступінь зміцнення при $V_k = 40$ м/с підвищується на 41%, а при $V_k = 160$ м/с — на 14%. Глибина

зміненого шару відповідно - 0,16 мм і 0,13 мм. Якщо вважати, що при збільшенні швидкості різання понад 20 м/с для Сталі 45 абсолютне значення контактної температури практично не змінюється, а тривалість теплового впливу зменшується, то зниження зміцнення можна пояснити пластичною деформацією в зоні різання при збільшенні швидкості деформування. Крім того, зі збільшенням швидкості різання зменшується зона упругопластической деформації з одночасним збільшенням зони різання, що є додатковою причиною зменшення мікротвердості перетинів рисок в зоні різання. Таким чином, збільшення швидкості різання приводить до утворення рисок з більш рівними, гладкими поверхнями, з однорідними борозенками з меншими напливами з боків рисок. При цьому зменшується ступінь і глибина поширення зміцнення поверхневого шару.

2.4 Продуктивність обробки при шліфуванні

Збільшення швидкості різання при шліфуванні виробляється головним чином для підвищення продуктивності обробки. Продуктивність будь-якої технологічної операції, в тому числі і шліфування, визначається числом заготовок, оброблених в одиницю часу на даному верстаті, або штучнокалькуляційним часом на обробку. Високошвидкісне шліфування дозволяє значно зменшити основний час обробки і одночасно збільшити період стійкості кругів без погіршення точності і якості обробки, тобто значно зменшити час організаційнотехнічного обслуговування. Для більш докладного обґрунтування цього положення слід розглянути функціональну залежність швидкості знімання металу від швидкості круга і інших технологічних параметрів обробки. Значна частка ефекту, що спостерігається при високошвидкісному шліфуванні, полягає в зменшенні опору різання, тобто в безпосередній дії швидкості деформації на зусилля різання при знятті стружки. Зі збільшенням швидкості різання зменшується пластична деформація металу і ставлення a_z/q , що характеризує момент початку стружкообформування. Це призводить до збільшення граничної товщини зрізу, яке витримується кожною ріжучою кромкою. Крім того, зі збільшенням швидкості

різання в сукупності різальних кромок абразивних зерен на робочій поверхні круга, що контактують із заготівлею, збільшується число крайок, що зрізують стружку, і відповідно зменшується число кромок, які виробляють тільки роботу пружнопластичної деформації.

Продуктивність процесу шліфування можна оцінити величиною $Q_{\text{уд}}$ - швидкістю знімання металу на одиницю висоти круга. Кількісну оцінку і аналіз впливу швидкості різання на питоме знімання металу при плоскому шліфуванні сталей електрокорундовими кругами можна виконати виходячи з такої залежності:

$$Q_{\text{уд}} = 9,2 \cdot 10^4 (a^2)_{\text{ср}} N_p V_k (1 - s_b) \sqrt{Dq}, \quad (2.1)$$

де s_b - коефіцієнт видавлювання, що залежить від швидкості різання, пластичних властивостей металу та ін.

Знаючи чисельні значення $a_{z \min}$, $a_{z \text{ пр}}$ и $a_{z \text{ ср}}$, а також значення N_p і q для різних умов обробки, можна розрахувати граничні значення питомої знімання металу. При оцінюванні технікоекономічної доцільності підвищення швидкості різання при шліфуванні необхідно враховувати вплив швидкості на знос і період стійкості кругів, а також на якість шліфованої поверхні, оскільки швидкість різання може надати протилежну по своєму ефекту дію на ці параметри.

У табл. 2.16 наведені дані про вплив швидкості різання на питома знімання металу при плоскому шліфуванні різних сталей електрокорундовим кругом 24A25CM17K43 з урахуванням умов сталості періоду стійкості і висоти шорсткості шліфованої поверхні, що показують, що збільшення швидкості різання з 35 до 70 м/с дає можливість збільшити продуктивність обробки в 1,7 рази для сталей 45 і 12X18H10T і в 1,6 рази для стали Р6М5 і при цьому зменшити зношування кругів відповідно в 1,7 і 1,6 рази.

Таблиця 2.2 Вплив швидкості круга на продуктивність шліфування

Матеріал що оброблюється	Швидкість круга $V_k, \text{м/с}$	$T, \text{хв}$	$R_a, \text{мкм}$	q	$Q, \text{мм}^3 \text{мм}^* \text{хв}$
Сталь 45 (HRC 48...52)	35	17	0,9	0,014	66
	70	16	1,0	0,008	114
12X18H10T (HB 65...75)	35	12	1,8	0,028	64
	70	12	1,8	0,016	110
P6M5 (HRC 62...63)	35	1,5	0,7	0,078	62
	70	1,5	0,7	0,048	104

Якість поверхневого шару металу буде залежати від контактних температур, що розвиваються в зоні різання, збільшення яких може привести до обмеження можливості отримання максимальної ефективності при високошвидкісному шліфуванні сталей і сплавів електрокорундовими кругами.

Круги з ельбору в даний час застосовують головним чином для чистових і обробних операцій шліфування швидкорізальних сталей. Чорнове шліфування з великою швидкістю знімання металу вважається неефективним, так як при ньому надмірно зношуються ельборові круги. Збільшення швидкості металу без відповідного збільшення навантаження на кожну ріжучу кромку ельборового круга може бути досягнуто шляхом збільшення швидкості різання. Для аналізу і кількісної оцінки впливу швидкості різання на питома з'їм металу можна скористатися залежністю (2.2). Однак у зв'язку з тим, що форма вершини ельборового зерна відрізняється від електрокорундового і коефіцієнт видавлювання при шліфуванні загартованих швидкорізальних сталей ельборовими колами дуже малий (при обробці цими кругами тугоплавких матеріалів практично дорівнює нулю), слід спростити залежність і прийняти $(1 - s_k) \div 1$. Тоді рівняння для питомої знімання металу при плоскому шліфуванні сталей і сплавів ельборовими колами можна записати в наступному вигляді:

$$Q_{уд} = 2 \cdot 10^4 a^2 N \operatorname{tg} / 2 \sqrt{Dq}, \quad (2.2)$$

Наведені раніше оцінки параметрів рельєфу робочих поверхонь ельборових кругів, а також граничних перерізів зрізу, витримує ельборовими зернами без руйнувань, дозволяють розрахувати значення питомої знімання металу для різних швидкостей різання (табл. 2.2). Отримані дані свідчать про те, що збільшення швидкості різання з 17 до 35 м/с дозволяє в 2,8 рази збільшити швидкість знімання металу, а збільшення швидкості з 35 до 70 м/с призводить до збільшення питомої знімання металу в 3,2 раза.

Результати експериментів, проведених при плоскому шліфуванні швидкорізальних сталей ельборовими кругами на керамічній зв'язці ЛО Л16С1К7 і ЛО Л12СМ1К8, підтверджують теоретичні розрахунки.

Таблиця 2.3 Значення питомого знімання металу для різних швидкостей різання при шліфуванні сталі Р18 (HRC 62...64) кругом ЛО Л16С1К7

Швидкість круга V_k , м/с	Середня товщина зрізу одним зерном a_{cp} , мкм	Кількість активних ріжучих кромок N_p , $мм^{-2}$	Питоме зняття металу $Q_{уд}$, $мм^3/(мм*хв)$		
			Розрахунковий	Експериментальний	
				$q \leq 4$ мг/г $R_a \leq 0,7$ мкм	$q \leq 10$ мг/г $R_a \leq 0,9$ мкм
17	3,8	5,5	50/36	36/67	75/67
35	4,4	5,8	139/100	54/100	112/100
70	5,8	6,5	440/317	118/220	250/220

Порівняння і аналіз розрахункових і експериментальних даних дозволяє зробити наступні висновки. Вплив швидкості різання на питома з'їм металу за результатами розрахунку і експерименту має приблизно однаковий характер. Однак експериментальні значення питомої знімання металу значно менше розрахункових (особливо з підвищенням швидкості кола), що пов'язано з недостатньо повним використанням можливостей ельборових зерен через недосконалість зв'язки і деякими іншими причинами. Зі збільшенням окружної швидкості шліфувального круга фактична глибина різання наближається до

номінальної зв'язку. У зв'язку з цим зменшується відставання фактичної швидкості знімання металу від номінальної, що також підвищує продуктивність і точність процесу обробки.

Збільшення швидкості з 25...30 до 70 м/с дозволяє в 2...3 рази збільшити швидкість знімання металу і тим самим значно підвищити продуктивність процесу обробки.

Визначивши величину $Q_{уд}$, можна знайти швидкість знімання металу

$$Q_{ном} = Q_{уд} B / K_c, \quad (2.3)$$

що задається режимом обробки з урахуванням «недознімання», який утворюється головним чином через пружні відтиски в технологічній системі, а також радіального зносу круга, і призначити режими різання, де B - висота круга, K_c - коефіцієнт знімання металу, що залежить від жорсткості технологічної системи, радіальної складової сили різання і зносу круга, характеристики круга і оброблюваного матеріалу.

Значення коефіцієнта K_c при шліфуванні різних матеріалів зі швидкістю кола 35 м/с наведені в роботі [66]. Однак більшість з перерахованих факторів, а отже і значення K_c , залежать від швидкості різання. Отримані значення коефіцієнта K_c для досліджуваних сталей при різних швидкостях різання і швидкості знімання металу наведені в табл. 2.18. Аналіз значень, представлених в таблиці, показує, що збільшення швидкості різання викликає збільшення коефіцієнта K_c при обробці всіх досліджуваних сталей, причому на більш інтенсивних режимах різання вплив швидкості різання значніше. Звідси випливає, що з точки зору досягнення точності розмірів деталі обробку з великим зніманням металу вигідніше виробляти при швидкостях різання 70 м/с і вище. При шліфуванні сталей Р6М5 і 2х18н10т коефіцієнт K_c більш чутливий до збільшення режимів різання, ніж при обробці Сталі 45. Так, при шліфуванні стали Р6М5 з $V_k = 17$ м/с корисне знімання металу майже в 2 рази менше задається подачами внаслідок пружних віджатий і інтенсивного зносу кола.

Аналіз ефективності високошвидкісного шліфування можна проводити для двох способів обробки: при постійній номінальній швидкості знімання металу; при постійній кінематики різання - постійної номінальній середньої площі поперечного перерізу зрізу $f_n = \text{const}$, $f_n = (V_d/V_k)s_0t$, де s_0 - подача на хід виробу (поперечна подача при плоскому шліфуванні); t - глибина різання; V_d - і V_k - лінійні швидкості виробу (стола) і круга.

Розрахунок може бути проведений по продуктивності процесу шліфування з урахуванням змінної частини штучнокалькуляційного часу і по змінній частині собівартості технологічної операції, що залежать від зміни режимів різання: t_0 — основного часу, $t_{пр}$ і $t_{подн}$ - часу правки круга і підналагодження, $t_{см}$ - часу заміни круга. У зв'язку з тим що основна частина заготовок надходить на операцію шліфування з відносно однаковою вихідної геометричної точністю і шорсткістю поверхні, при регламентованому рівні вимушених коливань верстата правка круга для відновлення його ріжучої здатності і його геометричній точності зі збільшенням швидкості різання потрібно значно рідше. Внаслідок цього при розрахунку продуктивності складовою $(t_{пр} + t_{подн}) / T$ можна знехтувати як величиною другого порядку малості. З тієї ж причини, у зв'язку з високими ріжучими властивостями кругів з ельбору і збільшенням їх стійкості при високошвидкісному шліфуванні, також можна знехтувати припадає на операцію часом $t_{см}$. Тоді продуктивність процесу шліфування

$$\Pi = \frac{60}{T_{ш-к}} = \frac{60\beta Q_{ном}}{\alpha Q_{ф}}, \quad (2.4)$$

де $Q_{ф}$ - швидкість знімання металу фактична; $Q_{ном}$ - то ж номінальна; $\beta = 0,95...0,96$ - коефіцієнт повноти знімання металу; $\alpha = 1,06$ - нормативний коефіцієнт.

Встановлено, що підвищення окружної швидкості круга при шліфуванні сталей і сплавів з постійною кінематикою різання забезпечує значне підвищення швидкості знімання металу пропорційно швидкості круга. Для сталей можна

прийняти $Q_{\text{ном}} \geq 43V_{\text{к}}$. З урахуванням цього формула для розрахунку максимальної продуктивності в залежності від $V_{\text{к}}$ набуває вигляду

$$\Pi_l = \frac{25,8 \cdot 10^2 \beta V_{\text{к}}}{\alpha Q_{\text{м}}}. \quad (2.5)$$

З формули випливає, що підвищення швидкості кола с 30...35м/с до 70 м/с забезпечує зменшення основного часу на обробку партії заготовок в середньому в 3...3,5 рази. З урахуванням того що складові штучнокалькуляційного часу залишаються незмінними або змінюються незначно можна стверджувати, що збільшення швидкості круга при шліфуванні забезпечує підвищення продуктивності праці не менше ніж в 2 рази. Таким чином, високошвидкісне шліфування сталей і сплавів кругами з ельбору і електрокорунду можна розглядати головним чином як засіб підвищення продуктивності обробки, а також як засіб зменшення зносу абразивних і ельборових кругів. Це значно підвищує ефективність процесу шліфування, з огляду на високу вартість кругів, особливо ельборових.

3 ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ

3.1 Високошвидкісне внутрішнє шліфування

Для переважної більшості операцій швидкість шліфування знаходиться в межах 30...50 м/с. Такий вибір був пов'язаний з міцністю шліфувальних кругів. Однак, відомо, що збільшення швидкості шліфування вельми істотно впливає на основні параметри процесу, що визначають його ефективність. Використання високих швидкостей стало можливо в зв'язку з розробкою відповідного обладнання і шліфувальних кругів.

Високошвидкісним шліфуванням називають шліфування зі швидкістю 60 м/с і вище. Це одне з основних найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності шліфування. У лабораторних дослідженнях досягнута швидкість

шліфування 500 м/с. На окремих шліфувальних верстатах в промисловому виробництві використовується швидкість шліфування 100...160 м/с.

Паралельно зі збільшенням швидкості шліфування зростає число різальних кромek абразивних зерен, що проходять в одиницю часу зону різання і забезпечують зрізання матеріалу. З формули для середньої товщини зрізу A_2 слід:

$$a_z = 0,00108 \cdot \sqrt[3]{\frac{tV_{S_k}^2}{V^2 N_z^2 D_3 \rho}}, \text{ м} \quad (3.1)$$

де t - глибина різання, мм; N_z - кількість різальних кромek на одиниці поверхні круга, мм⁻²;

Очевидно, що зі збільшенням швидкості різання кожна ріжуча кромка буде зрізати стружку меншого перетину. На зерно будуть діяти менші навантаження, воно буде менше зношуватися і залишати на оброблюваній поверхні мікронерівності менших розмірів. При однаковому перетині стружки, але при різній швидкості шліфування опір різанню і тертю також по-різному. З підвищенням швидкості шліфування не тільки зростає число крайок, що зрізують матеріал, але і зменшується число різальних крайок, які тільки пластично його деформують і викликають збільшення теплового на опрацьований матеріал.

При шліфуванні матеріалів звичайної оброблюваності з підвищенням швидкості шліфування при збереженні інших параметрів режиму обробки, як правило:

- підвищується стійкість шліфувальних кругів (рис. 3.1, а) і, відповідно, обсяг матеріалу, знятого за період стійкості;
- знижується шорсткість обробленої поверхні (рис. 3.1, б);

- зменшуються сили різання P_z , P_y (рис. 3.1, в) і їх співвідношення P_z / P_y (рис. 3.1, г) за рахунок зниження опору різання і тертя;

- зменшується знос кіл (рис. 3.1, д), включаючи знос крайок; - підвищується температура в зоні різання.

Якщо при шліфуванні зі швидкістю різання 30 м/с швидкість зняття матеріалу Q зазвичай знаходиться в межах 1...10 мм³/мм • с, то при 120 м/с вона може досягати 1000 мм³/мм • с, хоча для практики виробництва вона зазвичай не перевищує значень 100...300 мм³/мм • с.

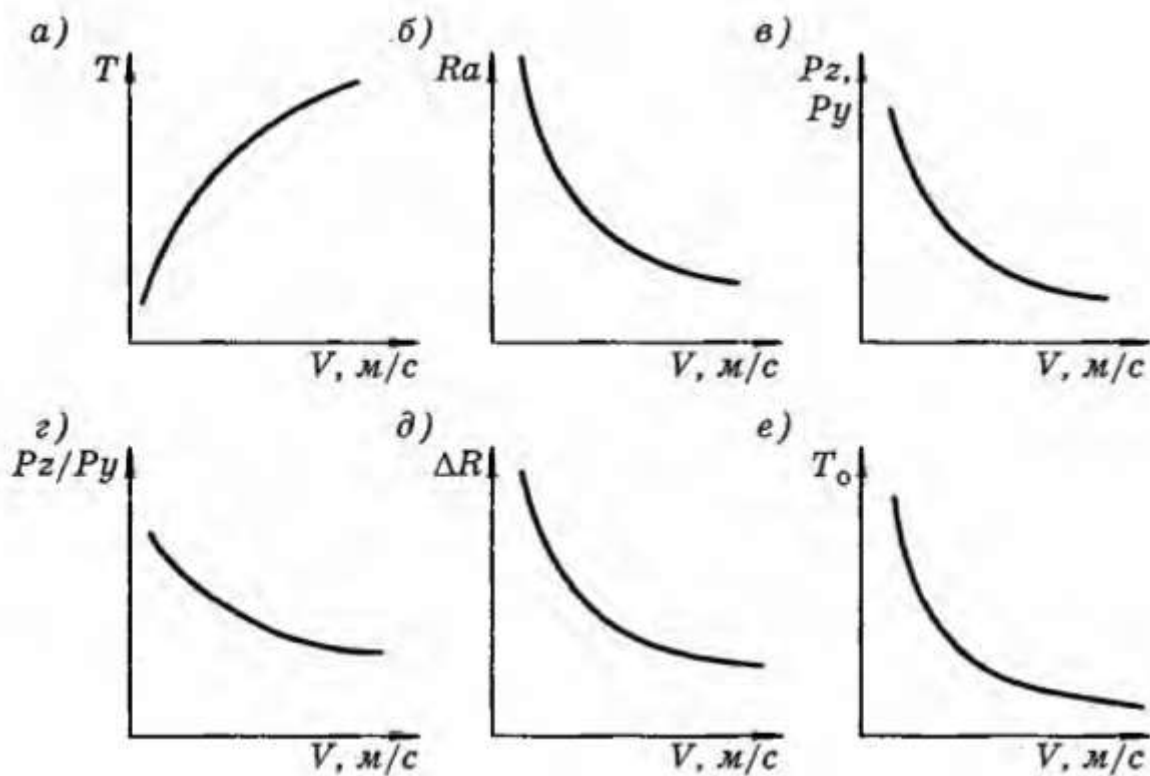


Рис. 3.1 – Вплив швидкості шліфування на основні параметри процесу: T – стійкість шліфувального круга; R_a – апараметр шорсткості шліфованої поверхні; P_y, P_z - сили різання; ΔR - радіальний знос шліфувального круга; T_o - основний час

Найбільш раціонально з підвищенням швидкості шліфування збільшувати швидкість зняття матеріалу, що різко підвищує продуктивність обробки за рахунок зменшення частки основного часу (рис. 3.1, е) в штучному часі. Так, за розрахунковими даними [5], вплив швидкості шліфування загартованої сталі 45

колом 24А 25 СМ1 7 К5 і кругом з ельбор ЛКВ50 200/160 100 С2 До на величину швидкості зняття металу досить значно (табл. 3.1).

У ряді робіт показана ефективність використання при високошвидкісному шліфуванні принципів глибинного шліфування. В першу чергу, мова йде про підвищення швидкості зняття матеріалу за рахунок підвищення радіальної подачі (глибини різання). Товщина зрізу різко збільшується. В цьому випадку витрата енергії при обробці може досягти значень, менших 12 Дж / мм, в той час як для звичайного режиму ця величина складає близько 50 Дж / мм³ [5]. Одночасно зменшується відношення P_z / P_y до 0,5, що наближає шліфування до обробки лезовим інструментом. Таке високошвидкісне глибинне шліфування знаходить практичне застосування при контурній обробці, забезпечуючи істотне зниження витрат енергії на процес різання, за рахунок її концентрації в обмеженій частині знімається припуску. Це в кінцевому підсумку дозволяє знизити потужність приводу шліфувального круга.

Зі збільшенням швидкості шліфування може спостерігатися деяке погіршення окремих параметрів якості поверхневого шару (зростає глибина припали, знижуються напруги стиснення або збільшуються напруги розтягнення і глибина їх залягання). Такі явища пов'язані, головним чином, з ростом інтенсивності теплоутворення при збільшенні швидкості різання. Слід зазначити, що в окремих роботах [9, 5] міститься обґрунтування можливості зниження температури в зоні різання при швидкості шліфування, що перевищує 100 м/с.

Таблиця 3.1 Вплив швидкості шліфування V на швидкість знімання матеріалу Q'_m

Швидкість шліфування V , м/с		20	40	80	120	160
Розрахункова величина швидкості зняття матеріалу Q'_m , мм ³ /мм*с	24А 25 СМ1 7 К5	0,32	1,3	3,9	7,4	11,3
	ЛКВ 50 200/160 100 С2 К	1,1	3,0	7,5	15	25

Компенсувати негативний вплив теплових впливів на матеріал поверхневого шару заготовки практично повністю вдається, якщо з ростом швидкості шліфування пропорційно збільшувати швидкість дотичного руху подачі V_{sk} . Для досягнення цієї мети рекомендується підтримувати відношення $V / V_{Sn} \leq 60$. Крім того, зазначена проблема успішно вирішується збільшенням тиску і витрати МОР і удосконаленням техніки її подачі в зону різання, ретельним підбором характеристик шліфувальних кругів і ін.

З табл. 3.1 випливає висновок про значні переваги інструменту з ельбору. Дослідженнями по шліфуванню колами з ельбор встановлено, що його використання забезпечує значне зменшення температури в зоні різання в порівнянні з іншими абразивними матеріалами. Це зумовлюється його основними фізико-механічними властивостями і геометричними параметрами ріжучих зерен. Застосування ельбор вельми актуально при високошвидкісному шліфуванні, де температура в зоні різання часто наближається до критичної по відношенню до пріжогообразованію. Такі висновки впливають з багатьох робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників. Вони знайшли підтвердження і в практиці виробництва. Використання кіл з ельбор забезпечує не тільки зниження температури в зоні різання, а й зменшує переходить в заготовку частку тепла, для аналізу якої можна скористатися формулою, запропонованою в роботі [60]:

$$R = \frac{\beta_z}{2\beta_z\beta_k} \quad (3.2)$$

де β_a β_k - коефіцієнти розсіювання тепла в заготовку і шліфувальний круг, відповідно.

При обробці сталей електрокорундовими колами на керамічній зв'язці величина $R \approx 0,39$, а кругами з ельбору - $R \approx 0,20$. Такі зміни R дозволяють судити про можливості та перспективи цього абразивного матеріалу для високошвидкісного шліфування. Ще більш істотне зменшення частки тепла, що переходить в заготовку, спостерігається при використанні гальванічних зв'язок для кіл з ельбор.

Особливе значення при високошвидкісному шліфуванні має використання МОР, яка зменшує кількість тепла, що переходить в заготовку. Вплив МОР пов'язано як з відведенням тепла із зони різання, так і зі зменшенням сил тертя, що забезпечує зниження теплоутворення і зменшення зносу ріжучих зерен. Незважаючи на значно вищу в'язкість і меншу теплопровідність в більшості випадків для високошвидкісного шліфування кругами з ельбору переважно масло, яке зменшує кількість тепла, що переходить в заготовку. Але можливості водних і синтетичних МОР для високошвидкісного шліфування ще повністю не вичерпані.

В ідеальному випадку швидкість витікання МОР повинна приблизно відповідати швидкості шліфування. Тоді за даними [55] для швидкості шліфування $V = 100$ м/с потрібно тиск в 5,5 МПа, а для $V = 200$ м/с - 22,0 МПа. Такі вимоги в даний час вельми важко реалізувати. Серед наявних проблем можна виділити наступні: підтримка ламінарності потоку, запобігання розшарування МОР аж до утворення дрібнодисперсних структур, загарбання повітря, фільтрація МОР. В даний час тиск МОР може досягати 1,0...4,0 МПа. При цьому витрата МОР близько 10 л/хв на кВт ефективної потужності шліфування [55]. Системи подачі МОР швидкісних верстатів зазвичай розташовують можливість витрати, що дорівнює 100...250 л/хв. Слід звернути увагу на значні витрати потужності (1,0 ... 2,0 кВт/мм) приводу шліфувального круга для подолання опору МОР, а також істотний силовий гідродинамічний вплив МОР на заготовку. Високошвидкісне шліфування забезпечує максимальну ефективність при чорновій і напівчистої обробці заготовок з вуглецевих і легованих сталей, чавунів, що мають значний припуск, коли в структурі штучного часу частка основного часу переважає; при шліфуванні швидкорізальних сталей кругами з ельбору; на зачисних (обдирні) операціях кругами на бакелітовій зв'язці і т. д. У ряді випадків стає доцільним поєднання чорновій і чистої обробки, виключення лезової обробки, що передуює шліфуванню. Висока ефективність характерна для високошвидкісного шліфування кругами з ельбору, де сегментні круги зі сталевим корпусом або

корпусом з алюмінієвого сплаву дозволяють виконувати обробку зі швидкістю 100 ... 200 м/с.

Слід зазначити, що промислове застосування електрокорундових кругів по ряду обставин (конструкції шліфувальних кругів, фізико-механічних властивостей зв'язок і абразивних матеріалів) в даний час обмежується швидкостями шліфування 100...120 м/с.

Ширшого застосування високошвидкісного шліфування повинні супроводжувати:

- застосування спеціальних високошвидкісних кіл підвищеної міцності на розрив для виключення їх руйнування при високій швидкості, так як з її ростом відцентрові сили, що діють на коло, збільшуються пропорційно квадрату частоти обертання;

- підвищення жорсткості технологічної системи, оскільки зі збільшенням швидкості шліфування за рахунок зростання відцентрових сил від неврівноважених мас системи «шпиндель - шліфувальний круг» ростуть коливання утворює робочої поверхні круга і, відповідно коливання глибини різання. Це підвищує знос кола, знижує якість оброблюваної поверхні за рахунок припалів, хвилястості, неоднорідною шорсткості і ін. Тому необхідні шліфувальні верстати, що мають високу статичну і динамічну жорсткість в області робочих частот, більш досконалі способи і пристрої для балансування шліфувальних кругів на шпинделі верстата;

- ряд заходів з нейтралізації негативної дії тепла на шліфується поверхня як збільшенням швидкості дотичного руху подачі, так і активізацією змащуючо-охолоджуючої дії використовуваних рідин. В останньому випадку, крім спеціальних складів МОР, слід застосовувати більш досконалі способи і пристрої їх подачі в зону різання в умовах більш інтенсивного повітряного потоку, що перешкоджає цьому процесу;

- більш високі вимоги до фізико-механічними властивостями (міцність, зносостійкість і т.д.) абразивних матеріалів. Істотно підвищуються вимоги до ретельності вибору характеристик шліфувальних кругів.

Верстати для високошвидкісного шліфування повинні задовольняти основним вимогам:

- мати збільшену потужність приводу, яка може досягати 100...150 кВт, і можливість безступінчатого регулювання частоти обертання шліфувального круга;

- мати системи подачі МОР в зону шліфування під великим тиском і з великою витратою; очищення кола поза зоною різання струменем МОР під тиском; охолодження МОР;

- забезпечувати надійний захист обслуговуючого персоналу від можливого розриву шліфувального круга і від розбризкування МОР.

3.2 Шліфування високопористими кругами

У сучасному машинобудуванні існує ряд проблем, пов'язаних з технологією шліфування деталей. Водпервих, це шліфування жароміцних, титанових, нержавіючих, кольорових сталей і сплавів, що відрізняються високою в'язкістю і пластичністю. При шліфуванні деталей з таких матеріалів звичайний абразивний круг швидко «засалюється», тобто покривається тонким шаром спресованої металевої стружки, що призводить до втрати його ріжучих властивостей. Інший групою важкооброблюваних матеріалів є важколеговані конструкційні та інструментальні сталі, при шліфуванні яких в поверхневому шарі через тепловий вплив часто виникають структурні зміни (припали) і тріщини.

Зазначені вище недоліки особливо проявляються при високопродуктивному глибинному шліфуванні, коли величина знімається за один прохід припуску значно збільшується, а вимоги до точності і якості поверхні деталей залишаються високими.

Звичайні абразивні круги не дозволяють ефективно шліфувати важкооброблювані матеріали через досить щільної структури круга, малого обсягу і малих розмірів пір в таких кругах. Тому основним напрямком підвищення ефективності шліфувальних кругів стало створення кругів з значно більш відкритою структурою шляхом збільшення як обсягів пір, так і міскістю пір в кругах. Такі круги, що отримали назву «високопористі», виготовляють шляхом введення в формувальну масу спеціального наповнювача, частинки якого вигорають в процесі термічної обробки (випалу) круга і залишають в тілі круга великі (розмірами від 100 до 1000 мкм) пори, значно перевищують за розмірами звичайні пори, розміри яких знаходяться в межах 10...50 мкм. Загальний обсяг пор в високопористих кругах становить 45...50%, в тому числі великих пір - 15...20%.

Великі пори виконують такі функції:

- створюють перед абразивним зерном простір для розміщення стружки, що зменшує «засолювання» кола;
- покращують подачу ЗМОТС безпосередньо в зону контакту круга із заготовкою, запобігаючи появі приалів і тріщин;
- за рахунок вентиляційного ефекту додатково охолоджують зону контакту повітряним потоком;
- зменшують тертя між поверхнями круга і заготовки.

У високопористих кругах значно змінюється геометрія робочої поверхні: зменшується відносна довжина профіля t_p , що характеризує поверхню контакту круга із заготовкою, збільшується середній крок S_p між вершинами абразивних зерен. Якщо у звичайного круга структури 6...8 $t_p = 0,090 \dots 0,058$, $S_p = 1,2$ мм, то у високопористого круга $t_p = 0,23 \dots 0,30$, $S_p = 2,4 \dots 3,1$ мм.

При шліфуванні високопористими кругами значно зменшується тепловиділення і, як наслідок, температура в зоні контакту знижується майже в 2

рази. Так, при шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5 температура в зоні контакту при використанні звичайного круга становить 540...605°C, при використанні високопористого круга - 260 ... 420°C ($V_s = 8...4$ м/хв; $t = 0,02$ мм).

Високопористі круги виготовляють з максимальним діаметром 750 мм, висотою до 100...150 мм. Для шліфування жароміцних сплавів використовують високопористі круги з електрокорунду білого 25А, для шліфування титанових сплавів - круги з карбіду кремнію зеленого 64С. Зернистість кругів використовують в межах від 10 до 50, твердість - від ВМ до СМ2. Оскільки міцність високопористих кругів нижче, ніж звичайних, робоча швидкість при шліфуванні не повинна перевищувати 35 м/с. Для її підвищення до 45...60 м/с необхідно або виготовляти круги двошаровими, з щільним центральним корпусом, або клеювати в центральну частину круга металеве кільце.

Висновок: в даній роботі було проаналізовано впливи різних факторів на продуктивність шліфування та якості обробки деталей на операції шліфування. Виходячи з аналізу були підібрані шляхи підвищення ефективного використання технологічної операції внутрішнього шліфування.

Наименование операции, деталь	Шлифовальный круг	Режимы шлифования			СОТЖ
		V , м/с	V_s , м/мин	t , мм	
Шлифование турбинных лопаток, сплав ЗМИ-ЗУ, HRC 49...50 на никелевой основе	З 450×45×203 25А40 ЗИЗЗ К5 КФ40	20... 26	0,08... 0,120	1...0,3; 0,15... 0,05	Аквол-2
Шлифование лопаток ГТД, сплав ЖС 26	1 500×25×203 25А12 ЗИЗЗ К КФ40	20... 25	0,25... 0,30	1,2... 0,7; 0,3... 0,015	Аквол-6
Шлифование рельсов, сталь 50, HRC 49	1 500×105×203 25А40 ЗИ42 К20 КФ40	35	0,2	2,0	Водный раствор нитрита натрия, триэтилоламина
Шлифование колесных пар, сталь 50, HRC 49	1 500×150×203 25А50 ЗИ42 К20 КФ40	35	0,3	2,0	— « —
Круглое шлифование деталей из титановых сплавов BT22, BT23, Ø53×250; Ø20×40; Ø6×67	1 400×40×127 63С25 СМ2 К10 КФ40; 1 300×40×127 63С40 СМ1 К10 КФ40; 1 350×40×127 63С25 СМ1 К10 КФ40	25... 30	0,3	0,025... 0,05	Аквол-6
Шлифование кулачков распределительного вала, сталь 18ХГ, HRC 59...63	1 750×20×305 25А25 МЗ К20 КФ40	35	0,1/ 0,3	0,05... 0,03	Эмульсия

Рис. 3.1 – Таблица прикладів шліфування високопористими кругами із електрокорунда і карбіду кремнію

Застосування високопористих кругів з ельбору дозволяє скоротити основний машинний час шліфування на 20...42% і виключити шліфувальні приали і тріщини, які з'являються навіть при використанні звичайних кругів з ельбору через складні умови шліфування (сталі, дуже чутливі до теплового впливу; утруднений доступ ЗМОТС в зону контакту круга із заготовкою).

3.3 Внутрішнє шліфування на основі збірних абразивних кругів

Одним з основних шляхів вдосконалення абразивної обробки є створення інструментів, що дозволяють знизити тепловиділення в зоні різання. Цілісні

переривчасті круги, здатні зменшити температуру в поверхневому шарі до значень нижче критичних, при яких не відбуваються фазові і структурні зміни в оброблюваному матеріалі, поряд з позитивними сторонами мають і недоліки:

- шліфування переривчастими кругами призводить до утворення більш потужних аеродинамічних потоків навколо обертового інструменту, ніж при роботі стандартних кругів;
- виконання западин на робочій частини абразивного кола знижує механічну міцність інструменту в порівнянні зі звичайним колом через зменшення площі несе перетину абразивного матеріалу; низька міцність кіл не дозволяє інтенсифікувати режими шліфування через небезпеку руйнування інструменту під дією значних сил різання;
- вищий рівень вібрацій технологічної системи призводить до утворення на поверхні обробленої деталі вищої хвилястості, погіршує мікро і макрогеометрію, а також знижує довговічність шліфувального обладнання;
- нераціонально використовується абразивний матеріал - після зношування ріжучих виступів велика частина кола йде у відходи.

Удосконалення абразивного інструменту може здійснюватися розробкою не тільки цілісних переривчастих, а й збірних (сегментних) абразивних кругів. Використання металевого несучого корпусу і абразивних ріжучих сегментів дозволяє вирішити питання підвищення механічної міцності переривчастого абразивного інструменту. Розривні швидкості для серійних кругів знаходяться в межах 60-120 м/с, а для збірних кругів - 100-250 м/с. Проф. Г. Б. Лур'є відзначав, що створення збірних конструкцій абразивних кругів є одним із шляхів вдосконалення процесу шліфування, оскільки ці круги дозволяють більш повно використовувати абразивний матеріал, інтенсифікувати підведення МОР і поліпшити відведення тепла. Проф. Л. Н. Філімонов, аналізуючи конструкції збірних кругів і відзначаючи їх недоліки (складність конструкції, підвищений рівень вібрації технологічної системи і ін.), Тим не менш, приходить до висновку,

що збірні абразивні круги в даний час є найбільш перспективним інструментом для роботи на швидкостях різання 100-200 м/с. Досліджуючи способи подачі МОР і механізм її потрапляння в зону контакту абразивного круга і заготовки, проф. В. Г. Гусєв відзначає, що істотного підвищення ефективності дії МОР можна домогтися при використанні зірної конструкції абразивного інструменту при подачі рідини між сегментами через отвори в корпусі круга. В цьому випадку підведення МОР здійснюється в безпосередній близькості від зони обробки, що підвищує ефективність її дії. Як приклад розглянемо конструкції зірних абразивних кругів, запропоновані проф. В. Г. Гусєвим. Конструкція зірного абразивного круга, призначеного для обробки отворів, представлена на рис. 3.2.

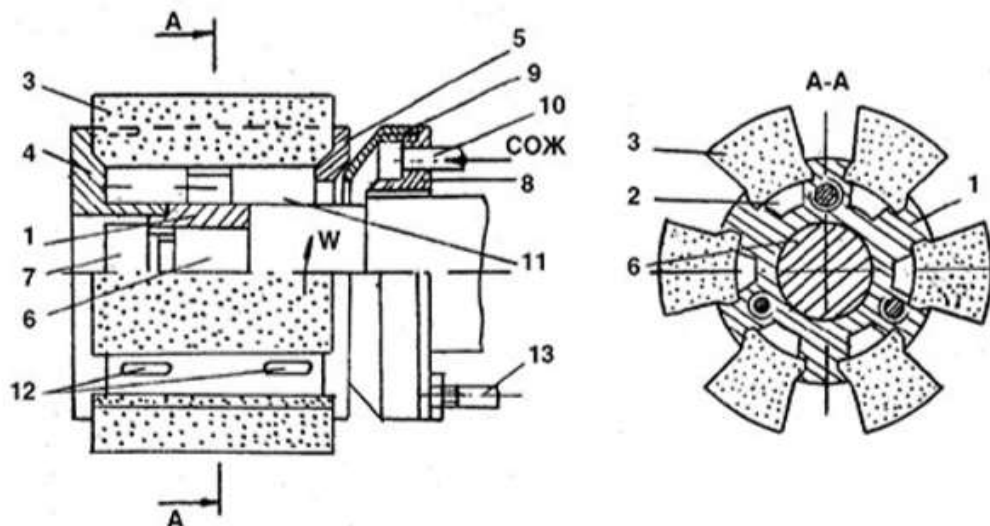


Рис. 3.2 – Конструкція зірного абразивного круга з переривчастою ріжучою поверхнею і пристроєм для подачі МОР: 1 - корпус; 2 - паз корпусу; 3 - абразивний сегмент; 4, 5 - кришки; 6 - шпиндель; 7 - болт; 8 - фланець; 9 - конічна гайка; 10 - трубопровід; 11 - порожнина інструменту; 12 - поздовжні щілини; 13 - стрижень.

Круг складається з корпусу 1, що має Т-образний подовжній перетин. У пази 2 вставлені абразивні сегменти 3, закріплені в корпусі кришками 4, 5 за допомогою гвинтів. Круг встановлений на шпинделі 6 і закріплений болтом 7. Пристрій для подачі мастильно-охолоджувальної рідини в зону різання являє собою фланець 8, на зовнішню різбову поверхню якого нагвинчена конічна гайка

9. Мастильно-охолоджуюча рідина, яка надходить по трубопроводу 10, проходить в порожнину 11 інструменту, а звідти під дією швидкого обертання круга надходить через пори сегментів і поздовжні щілини 12, виконані на периферії корпусу 1, в зону різання. Стрижні 13 кріплять пристрій для подачі МОР на нерухомої частини шпинделя.

Як впливає з конструктивної схеми, для установки збірної абразивного круга на верстат і подачі МОР через конструкцію не потрібно модернізації існуючих шпинделів і інших вузлів шліфувальних верстатів.

У процесі обертання круга в порожнині 11 створюється розрідження, в результаті чого МОР всмоктується всередину круга і звідти викидається в зону різання, надаючи ефективне змащувальну, миючу і охолоджуючу дію. Ефективну дію МОР разом з потужними аеродинамічними потоками, що генеруються збірними абразивним кругом з переривчастою ріжучою поверхнею, забезпечує інтенсивний тепловідвід із зони різання і зменшує усереднену температуру оброблюваної поверхні заготовки на 120-200%, контактну температуру - до 300%, імпульсну - до 280%. Таке істотне зниження тепловиділення в заготівлі дозволяє призначити форсовані режими різання і зменшити розтягують залишкові напруження в поверхневому шарі в 2-3 рази. Крім цього, збірні абразивні круги зменшують знос алмазу при поправках в 2-2,8 рази і витрата абразиву. Шліфування збірними абразивним кругом характеризується зменшенням енергетичних показників процесу. Складові сили різання P_y і P_z менше на 40-60% при обробці збірними колами в порівнянні з колами для безперервного різання. Зазначене зниження сил різання відбувається за рахунок утворення фронтальної поверхні, кращого розміщення стружки, що змазує, що охолоджує і миючого дії МОР, меншого засолювання робочої поверхні сегментів. Шліфування на форсованих режимах різання вимагає високої міцності інструменту, зокрема, абразивних сегментів. Збільшення міцності ріжучих сегментів з одночасною подачею МОР в зону різання через конструкцію кола призвело до створення збірної абразивного кола, представленого на малюнку 3.3.

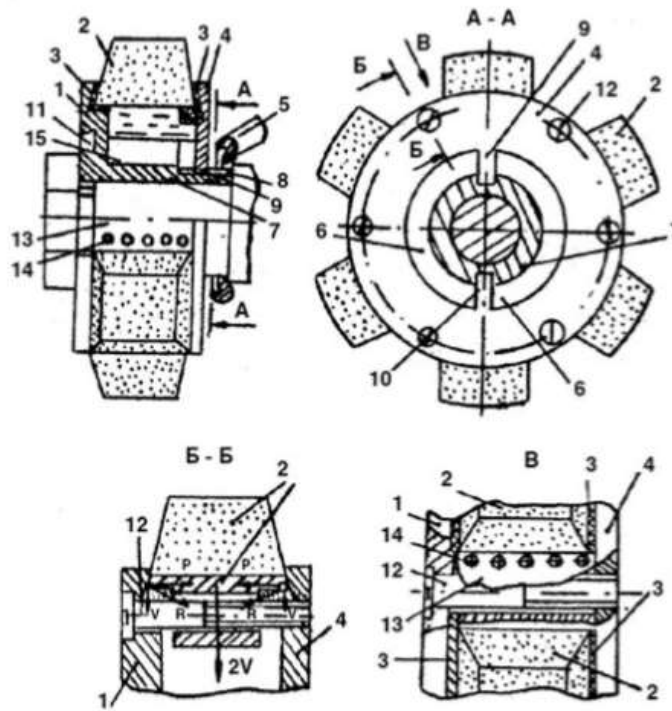


Рис. 3.3 – Збірний абразивний круг з кріпленням ріжучих сегментів по чотирьох сторонах: 1 - корпус; 2 - абразивний сегмент; 3 - пружний елемент; 4 - кришка; 5 - трубопровід; 6 - щілина; 7 - посадкова втулка; 8 - поздовжній паз; 9, 10 - радіальні ділянки; 11 - кільцева канавка; 12 - гвинт; 13 - планка; 14 - отвір; 15 - приймальна порожнина.

Даний круг складається з корпусу 1, абразивних сегментів 2, пружних елементів 3, завулканізованих в кришці 4 і корпусі 1. Трубопровід 5, виконаний у вигляді тора і має кільцевий проріз, служить для подачі МОР через щілини 6, утворені зовнішньої циліндричної поверхнею посадкової втулки 7 корпусу 1 і внутрішньої виїмкою кришки 4. для подолання крутного моменту і сил різання у втулці 7 виконані поздовжні пази 8, в які входять радіальні ділянки 9, 10 кришки 4. у корпусі круга виконана кільцева канавка 11 для розміщення в ній сухариків що балансують. Між абразивними ріжучими сегментами розміщені стягують гвинти 12, на які встановлено з зазором кріпильні планки 13 з просвердленими отворами 14 для подачі МОР з приймальні порожнини 15 в зону різання. При стягуванні корпусу 1 і кришки 4 гвинтами 12 скріплюються сегменти по всіх

чотирьох сторонах. По бічних сторонах кріпляться конічними ділянками кришки і корпусу, по двох залишилися поверхонь - планками 13.

Шліфування цим кругом на форсованих подачах вимагає крім зміцнення ріжучих елементів також зміцнення металоконструкції круга. Для цієї мети кришка 4 забезпечена радіальними ділянками 9, 10, які входять в пази 8 втулки корпусу. При шліфуванні МОР надходить в трубопровід 5, далі через щілини 6 - в прийомну порожнину 15, а з неї через отвори 14 - в зону різання, охолоджуючи заготовку.

В даний час також відома розроблена конструкція збірного абразивного інструменту з радіально-рухливими сегментами для внутрішнього шліфування, зображена на рис. 3.4, що дозволяє ефективно обробляти отвори в деталях машин.

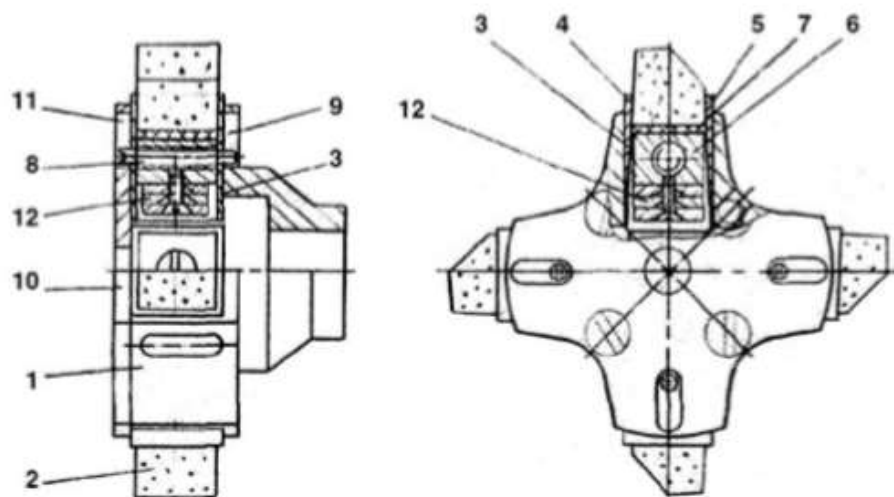


Рис. 3.4 – Збірний абразивний інструмент з радіально-рухливими сегментами для внутрішнього шліфування: 1 - корпус; 2 - абразивний сегмент; 3 - обойма; 4, 5 - похилі бічні ділянки абразивних сегментів; 6 - фіксатор; 7 - прокладка; 8 - вісь фіксатора; 9 - паз корпусу; 10 - кришка; 11 - паз кришки; 12 - вантаж.

Інструмент конструктивно складається з корпусу 1, абразивних сегментів 2, закріплених і утримуваних в металевих обоймах 3 за рахунок похилих бічних ділянок 4, 5 і фіксатора 6, взаємодіє з сегментом 2 через пружну прокладку 7.

Фіксатор 6 кріпиться в обоймі 3 віссю 8, яка одночасно є обмежувачем ходу обойми 3 в пазах 9, 11 корпусу 1 і кришки 10 інструменту. На фіксаторе 6 закріплені вантажі 12, що дозволяють регулювати зусилля притиснення абразивних сегментів 2 до заготівлі шляхом зміни їх маси.

Принцип роботи: інструмент розташовується співвісно оброблюваної заготівлі, включається подача МОР і здійснюються необхідні руху формоутворення. Подача СОЖ відбувається з нерухомого трубопроводу через осьовий отвір в кришці у внутрішню порожнину збірної інструменту, звідки через канали в корпусі інструменту рідина переміщається до шліфується заготівлі. Представлена конструкція розширює технологічні можливості інструмента за рахунок використання одного і того ж кола для здійснення чорнових, полувісних, чистових і обробних видів обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зубарев Ю. М., Приемышев А. В. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 304 с.
2. Рубинчик С.И. Высокоскоростное внутреннее шлифование. М., "Машиностроение", 1983. - 48 с.
3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М., "Машиностроение", 1975
4. Лурье Г.Б. Прогрессивная технология шлифования. 1957г.
5. Силин С.С., Леонов Б.Н. и др. Оптимизация технологии глубинного шлифования. М.: Машиностроение, 1989. — 120 с.
6. Ваксер Д.Б. Внутреннее шлифование. Л., Машиностроение, 1967г.
7. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении. СПб.: Политехника, 2007. — 424 с.
8. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. — М.: Машиностроение, 1975. — 176 с.
9. Филькин В. П., Колтунов И. Б. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования. — М.: Машиностроения, 1971. — 208 с.